



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PUULIITOSKOKEET

Vertailu Eurokoodi-laskelmiin

TEKIJÄ/T: Jukka Karhu
Otto Kuitunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Jukka Karhu, Otto Kuitunen	
Työn nimi Puuliitostekokeet - Vertailu Eurokoodi-laskelmiin	
Päiväys 24.5.2016	Sivumäärä/Liitteet 84/4
Ohjaaja(t) Rakennetekniikan yliopettaja, TkT, Arto Puurula, rakennetekniikan lehtori, DI, Matti Mikkonen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu, WIN -hanke	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia puisen palkin lovivaikutusta ja sen vahvistamista rakenneruuvia käyttäen ja tuottaa niistä opintomateriaalia Savonia-ammattikorkeakoulun käyttöön. Työssä tutkittiin myös puikkoliitoksia ja palkin kestävyyttä ripustuskuormaa vastaan. Kaikissa laskuissa käytettiin apuna Euronormien mukaisia PuuInfon esimerkkilaskelmia, joita sovellettiin tarpeen mukaan. Testit suoritettiin Savonia-ammattikorkeakoulun Opistotien kampuksen laboratoriotiloissa.</p> <p>Teorialaskut laskettiin käyttämällä Excel –taulukkolaskentaohjelmalla ja kuormituskokeet tehtiin käyttämällä hitsauslaboratorion hydraulista puristinta. Kuormituskokeissa käytettiin lujuusluokan L40 liimapuuta, kertopuuta (Kerto-S) sekä CLT-levyä, joista tarvittavat koekappaleet rakennettiin. Koekappaleita tehtiin yhteensä kymmenen, joista palkkeja seitsämän ja loput puikkoliitosten koekappaleita. Kaikki koekappaleet valmistettiin puulaboratoriossa käsin pöytäsiirkeliä, moottorisahaa ja käsityökaluja käyttäen. Kuormituskokeiden jälkeen palkeista sahattiin näytekappaleet, joiden avulla määritettiin puun kosteuspitoisuus. Laskennalliset tulokset laskettiin siten, että materiaaliarvoina käytettiin materiaalien lujuuksien ominaisarvoja ilman osavarmuuskertoimia silloin, kun materiaalien lujuuksien keskiarvoja ei ollut saatavilla. Kaikki kuormituskokeet videoitiin ja videot muokattiin liitostekokeiden esittämiseen sopiviksi. Työ tehtiin Win –hankkeen rahoituksella.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin Savonia-ammattikorkeakoulun käyttöön opintomateriaalia kuormitusvideoiden ja Excel-laskujen muodossa. Kuormituskokeista saatuja tuloksia verrattiin laskennallisiin arvoihin, joista käy ilmi että ilman ruuvivahvistusta kappaleet kestivät yli laskennallisen tuloksen. Tuloksista ilmenee myös, että ruuvivahvistetuissa lovetuissa palkeissa palkki murtui pienemmällä kuormalla, kuin mitä ruuvivahvistuksen olisi pitänyt laskennallisen kestävyuden perusteella kestää, mikä antaa aihetta jatkotutkimuksiin. Koska palkin loven laskennallinen kapasiteetti oli suurempi, kuin mitä palkki koekuormituksessa kesti, ovat laskut epävarmalla puolella. Tällaisen tuloksen antoivat lovetujen Kerto-S ja liimapuupalkkien ruuvivahvistetut testit.</p>	
Avainsanat Puurakenteet, lovettu palkki, puikkoliitosteoria	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Jukka Karhu, Otto Kuitunen			
Title of Thesis Timber Connections - Comparison of Loading Tests with Eurocode			
Date	14 May 2016	Pages/Appendices	84/4
Supervisor(s) PhD, Arto Puurula, Principal Lecturer, Mr. Matti Mikkonen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences, WIN -program			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to study the effects of a notched wooden beam with and without notch reinforcements and to produce material for Savonia University of Applied Sciences to be used in education. Dowel connections and the shearing of a wooden beam were also studied for illustrative purposes. Example calculations from PuuInfo were applied for theoretical calculations. The stress tests were performed in a laboratory at Savonia University of Applied Sciences.</p> <p>Theoretical calculations were performed with an Excel spreadsheet and the stress tests were performed with a hydraulic press. GL30c glulam, Laminated Veneer Lumber (LVL) and Cross Laminated Timber (CLT) materials were used to fabricate the needed test samples. A total of 10 samples were fabricated consisting of seven beams and three dowel connection –assemblies. All samples were made in the wood laboratory using a table saw, chainsaw and different handheld tools. After the stress tests, a smaller sample of the beams were taken to determine the moisture percentage of each sample. In theoretical calculations characteristic values for materials were used without safety coefficients. The studies were funded by the WIN program.</p> <p>As a result of this thesis educational material for Savonia University of Applied sciences were made in a form of loading test videos and Excel spreadsheets. Loading test results were compared to the theoretical calculations, which conclude that the tests of the non reinforced notch samples exceeded the strength of the theoretical calculation results, but the reinforced samples did not have the strength needed to withstand the theoretical results of the notch reinforcement. Further studies are needed for reinforced samples, because the strength of the joints is indefinite in comparison with the calculations. The tests that gave an indefinite result were Kerto-S and glulam notch reinforcement tests.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Timber structures, notched beam, dowel connections</p>			

ALKUSANAT

Haluamme kiittää niitä henkilöitä Savonia-ammattikorkeakoulusta, jotka auttoivat insinööriyön toteuttamisessa. Kiitämme erityisesti rakennetekniikan opettajia Arto Puurulaa ja Matti Mikkosta, jotka järjestivät keväällä 2016 Puurakenteet 3-kurssin, jonka aikana käydyistä asioista saimme idean insinööriyöllemme. Kurssilla läpikäyty asiat konkretisoituivat puurakenteiden osalta merkittävästi työn edetessä, sillä insinööriyötä tehtäessä näimme itse mitä palkeille tapahtuu kuormituksessa. Tämä auttaa ymmärtämään esimerkkitehtävissä lasketut tapaukset. Kiitämme myös puu- ja hitsauslaboratorion henkilökuntaa, jotka auttoivat kuormituskokeissa ja koekappaleiden käsittelyssä.

Kuopiossa 12.5.2016

Jukka Karhu & Otto Kuitunen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	PUIKKOLIITOSKOKEET	9
2.1	Pulttiliitos	9
2.1.1	Pulttiliitoksen teorialaskut	10
2.1.2	Liitoksen testaus ja tulokset	13
2.2	Ruuviliitos	15
2.2.1	Ruuviliitoksen teorialaskut	16
2.2.2	Liitoksen testaus ja tulokset	18
2.3	Vetoruuviliitos	20
2.3.1	Vetoruuviliitoksen teorialaskut	21
2.3.2	Liitoksen testaus ja tulokset	24
3	LIIMAPUUN RIPUSTUSKUORMA	26
3.1	Ripustuskuorman teorialaskut	27
3.2	Liitoksen testaus ja tulokset	29
4	LIIMAPUUPALKIN LOVIVAIKUTUS JA LOVEN RUUVIVAHVISTUS	33
4.1	Liimapuu ilman ruuvia	34
4.1.1	Liimapuu ilman ruuvia teorialaskut	35
4.1.2	Liimapuu ilman ruuvia testaus ja tulokset	39
4.2	Liimapuu ruuvivahvistus	42
4.2.1	Liimapuu ruuvivahvistus teorialaskut	42
4.2.2	Liimapuu ruuvivahvistus testaus ja tulokset	46
5	KERTO-S-PALKIN LOVIVAIKUTUS JA LOVEN RUUVIVAHVISTUS	50
5.1	Kerto-S ilman ruuvia	51
5.1.1	Kerto-S ilman ruuvia teorialaskut	52
5.1.2	Kerto-S ilman ruuvia testaus ja tulokset	56
5.2	Kerto-S ruuvivahvistus	58
5.2.1	Kerto-S ruuvivahvistus teorialaskut	58
5.2.2	Kerto-S ruuvivahvistus testaus ja tulokset	61
6	DIGIPUUSEMINAARIIN TEHDYT LOVIPALKIT	65
6.1	Lovettu CLT (Cross Laminated Timber) -palkki	65

6.1.1	CLT-palkin lovikestävyden teorialaskut	66
6.1.2	CLT-palkin testaus ja tulokset	70
6.2	Lovettu liimapuupalkki.....	72
6.2.1	Lovetun liimapuupalkin teorialaskut.....	72
6.2.2	Lovetun liimapuupalkin testaus ja tulokset	77
7	YHTEENVETO.....	80
8	POHDINTA.....	81
	LÄHTEET	83
	LIITE 1	84
	LIITE 2	93
	LIITE 3	102
	LIITE 4	107

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehdään yhteistyössä Savonia-ammattikorkeakoulun ja Win-hankkeen kanssa ja tarkoituksena on tuottaa opiskelumateriaalia ja tutkimustietoa koulun tarpeisiin. Idea opinnäytetyöhön saatiin keväällä 2016 toteutuneella Puurakenteet 3-kurssilla. Aiheen valintaan johti puurakentamisen ajankohtaisuus ja sen määrän kasvaminen. Sen lisäksi Savonia-ammattikorkeakoululla ei ole aikaisempaa tutkimusmateriaalia kyseisestä aiheesta ja tämän opinnäytetyön tuloksia voidaan käyttää mahdollisiin jatkotutkimuksiin. Tämä opinnäytetyö on esitutkimus, jonka avulla jatkotutkimukset voidaan keskittää tässä työssä ilmenneisiin laskennallisten kapasiteettien ja koetulosten eroavaisuuksiin, erityisesti silloin kun laskelmat antavat suuremman kapasiteetin kuin kuormituskokeet.

Opinnäytetyön tarkoituksena on verrata ruuvivahvistuksen vaikutustan palkin loven kestävyyyteen ja halkeaman käyttäytymiseen. Sen lisäksi tutkitaan puikkoliitosteorian mukaisia pultti- ja ruuviliitoksia havainnollistamaan kuormituksesta johtuvia muodonmuutoksia liitoksissa, sekä tutkia ripustuskuormasta aiheutuvaa palkin halkeamismurtoa ja puun käyttäytymistä liitoksessa. Työssä vertaillaan Excel-taulukkolaskentaohjelmalla laskettuja Euronormien mukaisia tuloksia ja laboratoriokokein määriteltäviä kestävyksiä keskenään.

Lovipalkilla tarkoitetaan palkkia, jonka pääty on madallettu tekemällä palkkiin lovi. Lovi valmistetaan yleensä tilan säästämiseksi korkeussuunnassa. Lovivaikutusta tutkittaessa vertailukappaleina käytetään kertopuusta (Kerto-S) ja liimapuusta (L40 / GL30c) valmistettuja palkkeja. Loven vahvistusta tutkitaan varustamalla palkki yhdellä rakenneruuvilla, joka täyttää kansainvälisen ETA 11/0190 standardin. Tarkoituksena on vertailla vahvistamatonta ja vahvistettua lovettua palkkia keskenään ja tutkia ruuvien vaikutusta halkeaman syntymiseen ja käyttäytymiseen. Kummastakin materiaalista valmistetaan kaksi palkkia, joista loven sahaamisen jälkeen toiseen asennetaan ruuvivahvistus palkin alapintaan.

Puikkoliitoksella tarkoitetaan yleensä vaarnoilla tehtyä liitosta, jossa kappale liitetään toiseen kappaleeseen sileällä tapilla tai ruuvilla. Puikkoliitosteoriaa tutkittaessa kertopuusta valmistetaan kolme kappaletta, jotka koostuvat kolmesta erillisestä kappaleesta. Erilliset kappaleet liitetään toisiinsa käyttäen läpipultteja tai ruuveja. Ruuviliitoksessa verrataan suoraan poratun ruuviliitoksen käyttäytymistä vetoruuviliitokseen. Vetoruuviliitoksessa ruuvit ovat pidempiä ja ne on porattu puuhun 45 asteen kulmassa, tämän tarkoituksena on saada tietoa liitoksen kestävyydestä ruuvien muodonmuutokseen liittyen.

Palkin ripustuskuormaa tutkittaessa liimapuupalkkiin valmistetaan teräksestä tehty kuormitustyökalu, joka asennetaan palkin keskikohtaan kolmella läpipultilla. Kuormitustyökalun avulla voitiin kuormituskoneella painaa palkkia vetämisen sijasta, joka helpottaa koejärjesjestelyä. Kokeessa tutkitaan palkin syiden suuntaista kestävyyttä ja halkeamisen syntymistä ja käyttäytymistä.

Kaikki koekappaleiden kuormituskokeet suoritetaan käyttämällä Savonia-ammattikorkeakoulun hitauslaboratorion tiloissa sijaitsevaa hydraulista kuormituskoneetta. Tulokset ja kuormitusvideot jälkikäsitellään sopivaan muotoon opetuskäyttöä varten.

Win-hanke on Itä-Suomen alueella toimivien puualan yritysten, sekä Itä-Suomen alueella toimivan puualan yhteistyön innovaatioverkoston kehittäminen yhteistyön avulla ja markkinoiden edellyttämällä tavalla. Kaikki työssä käytetyt materiaalihankinnat on tehty Win-hankkeen rahoituksen avulla. Win-hankkeen rahoittajina toimivat Euroopan unionin aluekehitysrahasto (EAKR) ja sen lisäksi kunnat ja yritykset. Osarahoittajina toimivat myös Etelä-Savon maakuntaliitto ja Pohjois-Karjalan maakuntaliitto. (WIN-hanke.)

2 PUIKKOLIITOSKOKEET

Puikkoliitoskokeet käsittää metallisin, puikkotyyppisin liittimin tehdyt liitokset. Näihin sisältyy esimerkiksi naulojen, hakasien, ruuvein, pulttien ja tappivaarnoin tehdyt liitokset. Pääperiaate on, että liitin siirtää siihen kohdistuvan kohtisuoran voiman akselinsa pituussuunnassa kappaleelta toiselle. Puikkoliitoksen kestävyys vaikuttaa liittimen myötölujuus, liitettävien osien reunapuristuslujuus sekä liittimen ulosvetolujuus. (Pedersen 2002, 17.) Puikkoliitoskokeiden kapasiteetin laskenta perustuu K.W. Johansenin 1940-luvulla luomaan teoriaan, jonka pohjalta on tehty Eurokoodin (EC5-1 1995) mukaiset nykyaikaiset suunnittelusäännöt.

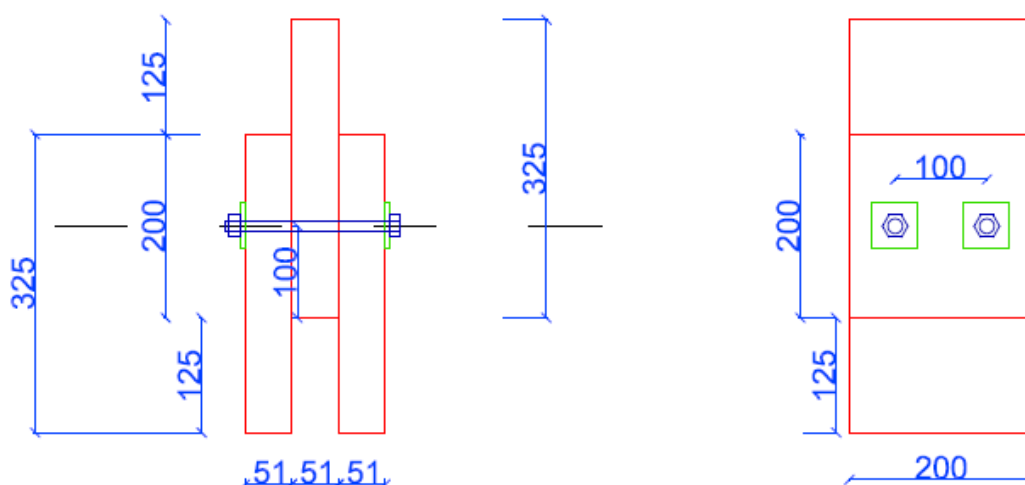
Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin puikkoliitosteorian mukaisia pultti- ja ruuviliitoksia. Liitoskappaleet koostuivat kolmesta erillisestä Kerto-S kappaleesta, joita tehtiin yhteensä kolme kappaletta. Seuraavissa kohdissa on esitetty tutkitut liitokset.

2.1 Pulttiliitos

Kuvissa 1 ja 2 on esitetty opinnäytetyössä testattu Kerto-S kappaleen liitos, joka koostui kahdesta pultista, joiden koot olivat 10 x 160 mm. Pultit olivat asennettu kohtisuoraan syysuuntaa vastaan.



KUVA 1. Pulttiliitos (Karhu & Kuitunen 2016)



KUVA 2. Pulttiliitoksen kokoonpanokuva (Karhu & Kuitunen 2016)

2.1.1 Pulttiliitoksen teorialaskut

Seuraavaksi on esitelty pulttiliitoksen teorialasku, josta käy ilmi koko liitoksen kestävyys.

Alla esitetyt lujuusominaisuuksien arvot ovat keskiarvoja.

Kaavaviittaukset puurakenteiden suunnitteluohje (RIL 205-1-2009).

ESIMERKKI 1. Pulittiliitoksen kapasiteetin laskeminen (Karhu & Kuitunen 2016)

Materiaali

Kerto-S

ρ_m 510 kg/m³

k_{mod} 1,1

b 51 mm

h 200 mm

Lujuus ja jäykkyysominaisuudet

γ_M 1

Pultti 2M10(8.8)

Mutteri M10 (8.0)

Aluslevy 50x50x5 (8.8)

d 10 mm

$4 \cdot d$ 40 mm $< t_1, t_2$

$5 \cdot d$ 50 mm $< t_s$

$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d$

$= 1,5$

$\alpha = 0^\circ$

Materiaalin tiheyden keskiarvo

Kuorman aikaluokan muunnoskerroin

Palkin leveys

Palkin korkeus

Vaarnan halkaisija. halkaisijan määrää d :n suhde kappaleitten pak-
suuteen(t_1, t_2) $\geq 4 \cdot d$,
kaksileikkeisessä liitoksessa keskimmäisen kappaleen paksuus (t_s)
 $\geq 5 \cdot d$

Reunimmaisien palojen vähimmäispaksuusvaatimus

Keskimmäisen palan vähimmäispaksuusvaatimus

Materiaalista johtuva korjauskerroin

Voiman ja syyn välinen kulma

Kertopuun reunapuristuslujuus

$f_{h,0,m} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) \cdot \rho_k$

$= 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) \cdot 510$

(8.32)

$$= 37,64 \text{ N/mm}^2$$

Reunapuristuslujuus kulmassa α syyn suuntaan nähden

$$f_{h,m} = \frac{f_{h,0,m}}{k_{90} * \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} \quad (8.31)$$

$$= 37,64 \text{ N/mm}^2$$

Pultin myötömomentti

$$\begin{aligned} f_{u,m} &= 817 \text{ N/mm}^2 && \text{Pultin vetomurtolu-} \\ &&& \text{juuden keskiarvo} \\ M_y &= 0,3 * f_{u,m} * d^{2.6} \\ &= 97576 \text{ Nmm} \end{aligned} \quad (8.30)$$

Liitospuiden paksuudet

t_1, t_2	51 mm	min	40 mm
t_s	51 mm	min	50 mm

Yhden leikkeen leikkauskestävyys

$$f_{hm} = \text{Puun reunapuristuslujuuden keskiarvo} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1m} \\ f_{h,2,m} \\ f_{h,s,m} \end{array} \right. \quad (8.28.3S)$$

$$\Rightarrow \min \left\{ \begin{array}{l} 37,64 \text{ N/mm}^2 \\ 37,64 \text{ N/mm}^2 \\ 37,64 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right.$$

$$f_{hm} = 37,64 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,1,m} \text{ ja } f_{h,2,m} = \text{liitoksen reunaosien reunapuristuslujuuksien keskiarvo}$$

$$f_{h,s,m} = \text{kaksileikkeisen liitoksen keskiosan puristuslujuuden keskiarvo}$$

$$t_u = \text{Liitoskappaleiden ohuimman leikkeen paksuus} = \min \left(\frac{t_1 \cdot f_{h,1,m}}{f_{hm}}, \frac{t_2 \cdot f_{h,2,m}}{f_{hm}} \right) \quad (8.28.2S)$$

$$\Rightarrow \min \left(\frac{51 \cdot 37,64}{37,64} = 51 \text{ mm}, \frac{51 \cdot 37,64}{37,64} = 51 \text{ mm} \right)$$

$$R_k = \min \left(0,4 \cdot f_h \cdot t_u \cdot d \cdot \sqrt{1 + \frac{3xMy}{f_h \cdot d \cdot t_u^2}} = 8751 \text{ N}, 2 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} = 12120 \text{ N} \right) \quad (8.28.1S)$$

$$R_k = \text{Yhden leikkeen leikkauskestävyys}$$

$$R_k = 8751 \text{ N / Leike}$$

$$m = 2 \text{ kpl leikkeitä per pultti}$$

$$n = 2 \text{ kpl pultteja per liitos}$$

$$R_{\text{liitos,d}} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot m \cdot n \cdot R_k \quad (8.0.1S)$$

$$= 38504,99 \text{ N}$$

$$38,5 \text{ kN / liitos}$$

Yllä olevassa esimerkissä laskettu vetomurtolujuuden keskiarvo $f_{u,m}$ on laskettu käyttäen Pameto oy:lta saatua tietoa vastaavankokoisen kierretangon kestävyys keskiarvosta. Pametolta Oy:lta saatu voima, jonka M10(8.8) kierretanko kestää on 47,4 kN. Tämän voiman avulla laskettiin $f_{u,m} = 47,4 \times 10^3 \text{ N} / 58 \text{ mm}^2 = 817,24 \text{ N/mm}^2$, jossa murtovoima on jaettu pultin kierteisen osan poikkileikkauksen pinta-alalla.

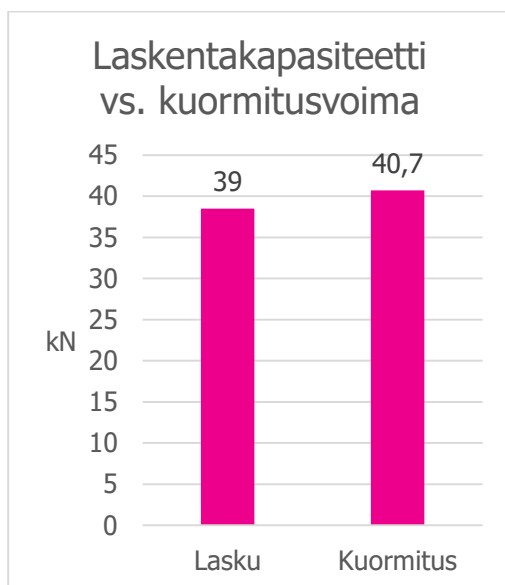
2.1.2 Liitoksen testaus ja tulokset

Kohdassa 2.1.1 ilmoitetusta liitoksen kokonaiskestävyydestä huolimatta liitosta kuormitettiin suuremmalla kuormalla, sillä muutoin haluttua siirtymää (1 cm) ei olisi saavutettu. Tämä tehtiin sen vuoksi, että liitos voitiin halkaista ja tutkia kuormituksesta aiheutuvia puun ja liittimen muodonmuutoksia ja siirtymiä.



KUVA 3. Poikkileikkaus liittimen kohdalta (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvasta 3 näkyy liittimen muodonmuutos kuormituksesta johtuen. Nuoli osoittaa kuormituksen suunnan. Liitosta kuormitettiin 40,7kN:n kuormalla. Puuhun piirrettyjen viivojen etäisyydet ovat 1,5 cm ja 1,0 cm. Alempien viivojen välin siirtymästä nähdään keskimmäisen liitoskappaleen siirtymä, joka oli 1,0 cm. Kuvasta käy ilmi myös, että vaikka liitosta kuormitettiin siirtymän saamiseksi, on pullissa oleva jännitys palauttanut siirtymää hieman takaisin päin.



KUVIO 1. Pulttiliitoksen tulosten vertailu (Karhu & Kuitunen 2016)

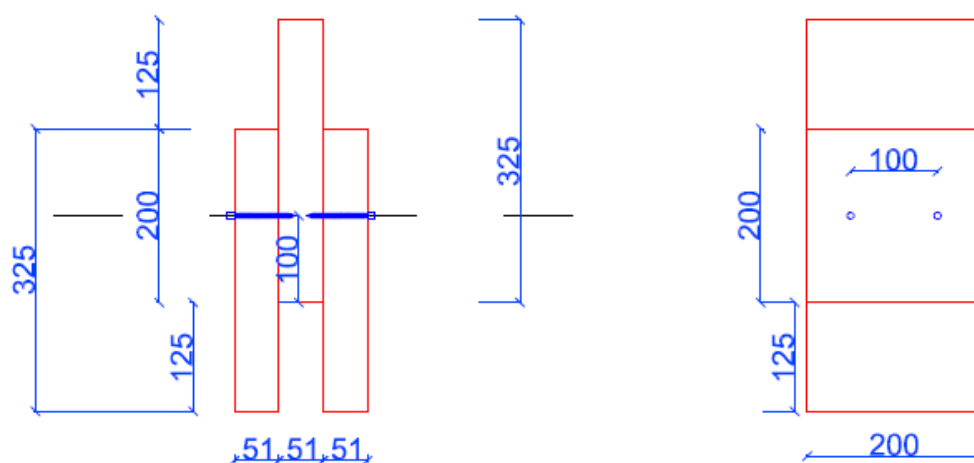
Kuviosta 1 käy ilmi, että liitoksen kuormitus koetilanteessa oli 1,7 kN yli laskennallisen kuorman. Laskentatulokset on laskettu käyttämällä materiaalin lujuuksien keskiarvoja, jolloin laskennallisen kestävyys ylittyminen voi johtua siitä, että laskentakaavat antavat tuloksen varmalle puolelle. Laskentakapasiteetti ei saisi ylittää kuormituskokeista saatua tulosta.

2.2 Ruuviliitos

Kokeessa testattiin myös puikkoliitosteorian mukainen ruuviliitos, jonka kappaleen puut olivat liitettyä toisiinsa käyttäen 6 x 80 mm Assy VG plus -rakenneruuveja. Ruuvit porattiin puuhun kohtisuoraa syysuuntaa vastaan, samalla tavalla kuin pulttiliitoksessa. Ruuveissa oli porakärki, joka eliminoi esiporauksen tarpeen puun halkeamisen estämiseksi. Kuvassa 4 ja 5 on esitetty kokeen liitos.



KUVA 4. Ruuviliitos (Karhu & Kuitunen 2016)



KUVA 5. Ruuviliitoksen kokoonpanokuva (Karhu & Kuitunen 2016)

2.2.1 Ruuviliitoksen teorialaskut

Seuraavaksi on esitelty ruuviliitoksen teorialasku, josta käy ilmi koko liitoksen kestävyys.

Alla esitetyt ruuvien lujuusominaisuuksien arvot ovat ominaisarvoja, sillä emme saaneet keskiarvoja valmistajalta.

Kaavaviittaukset puurakenteiden suunnitteluohjeeseen (RIL 205-1-2009).

ESIMERKKI 2. Ruuviliitoksen kokonaiskapasiteetti (Karhu & Kuitunen 2016)

Materiaali

Kerto-S

ρ_m	510 kg/m ³		Materiaalin tiheyden keskiarvo
k_{mod}	1,1		Kuorman aikaluokan muunnoskerroin lyhytaikaiselle kuormalle
b	51 mm		Palkin leveys
h	200 mm		Palkin korkeus
Lujuus ja jäykkyysominaisuudet			
γ_M	1		Materiaalin osavarmuusluku
Ruuvit	6*80 Assy VG plus		
d	6	Ruuvin halkaisija	halkaisijan määrää d :n suhde kappaleitten paksuuteen (t_1, t_2) $\geq 4*d$, kaksileikkeisessä liitoksessa keskimmäisen kappaleen paksuus (t_s) $\geq 5*d$
$4*d$	24 mm	$< t_1, t_2$	Reunimmaisien palojen vähimmäispaksuusvaatimus
$5*d$	30 mm	$< t_s$	Keskimmäisen palan vähimmäispaksuusvaatimus
k_{90}	= 1,30+0,015*d		Materiaalista johtuva korjauskerroin
	= 1,39		
α	= 0 °		Voiman ja syyn välinen kulma

Kertopuun reunapuristuslujuus

$$\begin{aligned}
 f_{h,0,m} &= 0,082*(1-0,01*8)*\rho_m & (8.3.2) \\
 &= 0,082*(1-0,01*8)*510 \\
 &= 39,31 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Reunapuristuslujuus kulmassa α syyn suuntaan nähden

$$\begin{aligned}
 f_{h,m} &= \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} & (8.3.1) \\
 &= 39,31 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Ruuvin myötömomentti

$$M_{yk} = 20000 \text{ Nmm} \quad \begin{matrix} \text{(Taulukkoarvo} \\ \text{ETA11/0190)} \end{matrix}$$

Liitospuiden paksuudet

t_1, t_2	51 mm	min	24 mm
t_s	51 mm	min	30 mm

Yhden leikkeen leikkauskestävyys

$f_{h,m}$ = Puun reunapuristuslujuuden keskiarvo

$$f_{h,m} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \\ f_{h,2,k} \\ f_{h,s,k} \end{cases} \quad (8.28.3S)$$

$$f_{h,m} \Rightarrow \min \begin{cases} 39,31 \text{ N/mm}^2 \\ 39,31 \text{ N/mm}^2 \\ 39,31 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$

$$f_{h,m} = 39,31 \text{ N/mm}^2$$

t_u = Liitoskappaleiden ohuimman leikkeen paksuus

$$t_u = \min \begin{cases} \frac{t_1 * f_{h,1,m}}{f_{h,m}} \\ \frac{t_2 * f_{h,2,m}}{f_{h,m}} \end{cases} \quad (8.28.2S)$$

$$t_u \Rightarrow \min \begin{cases} \frac{51 * 39,31}{39,31} = 51 \text{ mm} \\ \frac{51 * 39,31}{39,31} = 51 \text{ mm} \end{cases}$$

$$t_u = 51 \text{ mm}$$

$$R_m = \min \begin{cases} 0,4 * f_{h,m} * t_u * d * \sqrt{1 + \frac{3xMy}{f_{h,m} * d * t_u^2}} = 5041 \text{ N} \\ 2 * \sqrt{M_y * f_{h,m} * d} = 4344 \text{ N} \end{cases} \quad (8.28.1S)$$

$$R_m = \text{Yhden leikkeen leikkauskestävyys} \quad 4344 \text{ N/Leike}$$

$$m = 1 \text{ kpl leikkeitä per ruuvi}$$

$$n = 4 \text{ kpl ruuveja per liitos}$$

$$R_{liitos,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * m * n * R_m \quad (8.0.1S)$$

$$= 19113,02 \text{ N}$$

$$19 \text{ kN / liitos}$$

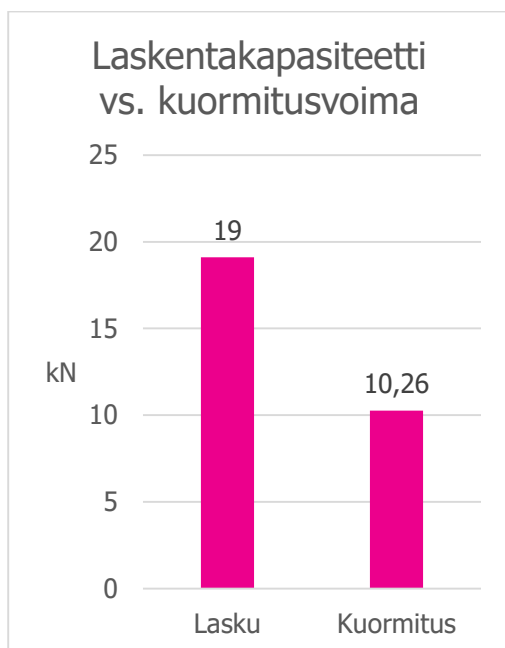
2.2.2 Liitoksen testaus ja tulokset

Kohdassa 2.2.1 ilmoitetusta liitoksen kokonaiskestävyydestä huolimatta liitosta kuormitettiin vain sellaisella kuormalla, että siirtymäksi saatiin 1 cm. Tämä tehtiin sen vuoksi, että liitos voitiin hal-
kaista ja tutkia samalla tapaa, kuin kohdan 2.1 pulttiliitosta.



KUVA 6. Ruuviliitoksen leikkaus (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvasta 6 käy ilmi, että ruuvit ovat taipuneet leikkeiden, eli kappaleiden väliseltä kohdalta. Tämä johtuu siitä, että kuormituksen seurauksena ruuvit alkavat taipumaan, eivätkä ne enää palaudu alkuperäiseen muotoonsa. Tätä tapahtumaa kutsutaan plastiseksi muodonmuutokseksi. Liitosta kuormitettiin 10,26 kN:n kuormalla ja siirtymäviivat olivat piirretty samalla tapaa kuin kohdassa 2.1 esitetyssä pulttiliitoksessa.



KUVIO 2. Ruuviliitoksen tulosten vertailu (Karhu & Kuitunen 2016)

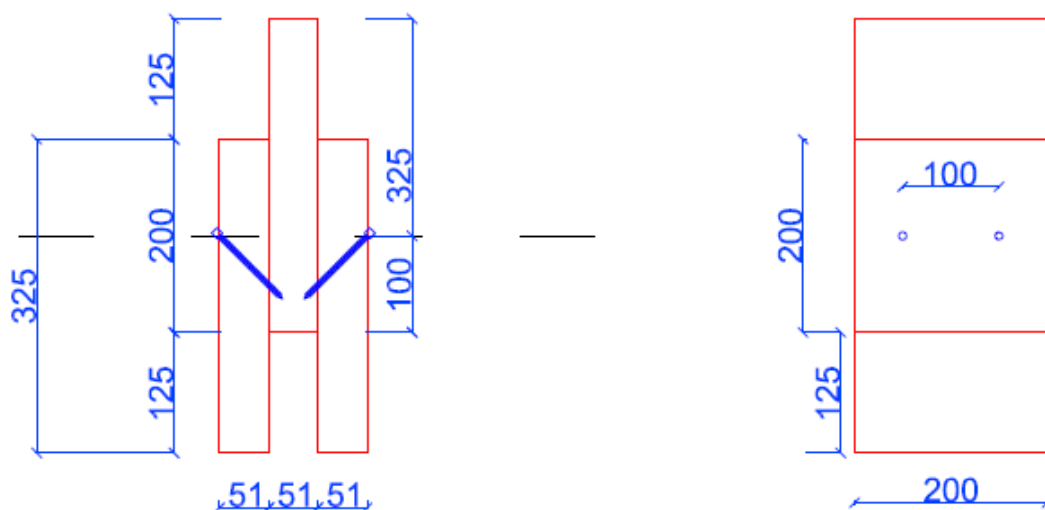
Kuviosta 2 käy ilmi, että laskennallinen kestävyys oli 8,74 kN (85%) suurempi, kuin koetilanteessa käytetty kuorma. Liitos olisi voinut kestää laskennallisen kuorman mutta, koska liitosta ei haluttu hajoittaa kokonaan, sitä kuormitettiin vain siirtymän saamiseksi tarvittavalla voimalla. Koska lasku on epävarmalla puolella, jatkotutkimus olisi syytä suorittaa ongelman ratkaisemiseksi. Laskuissa on käytetty puun lujuusarvoina keskiarvoja ja ruuvien lujuusarvoina ominaisarvoja. Ruuvien ominaisarvojen käyttö johtuu siitä, että emme saaneet keskiarvolujuuksia valmistajalta. Tämä ei kuitenkaan vaikuta laskun ja kuormituksen vertailuun merkittävästi, sillä ruuvien lujuusominaisuuksien keskiarvot ovat suurempia kuin ominaisarvot, jolloin laskennallinen kapasiteetti kasvaisi niitä käytettäessä.

2.3 Vetoruuviliitos

Testissä mukana olleen kolmannen kappaleen puut olivat liitetty toisiinsa käyttäen 6 x 100 mm Assy VG plus-rakenneruuveja jotka olivat porattu 45 asteen kulmassa syysuuntaan nähden, joten ruuvit muodostivat vetoruuviliitoksen puukappaleiden välille. Ruuvit porattiin puuhun 45 asteen kulmaan käyttäen apuna puukappaletta, johon oli sahattu sopiva kulma, jotta ruuvit saatiin porattua puuhun oikeassa kulmassa. Kuvissa 7 ja 8 on esitetty koekappaleen rakennetta.



KUVA 7. Vetoruuviliitos (Karhu & Kuitunen 2016)



KUVA 8. Vetoruuviliitoksen kokoonpanokuva (Karhu & Kuitunen 2016)

2.3.1 Vetoruuviliitoksen teorialaskut

Seuraavaksi on esitelty vetoruuviliitoksen teorialasku, josta käy ilmi koko liitoksen kestävyys.

Alla esitetyt puun lujuusominaisuuksien arvot ovat keskiarvoja. Ruuvien lujuusominaisuuksien arvot ovat ominaisarvoja, sillä emme saaneet keskiarvoja valmistajalta.

Kaavaviittauksen puurakenteiden suunnitteluohjeeseen (RIL 205-1-2009 ja MetsäWoodin ruuviliitosten mitoitus s. 14)

ESIMERKKI 3. Vetoruuviliitoksen kapasiteetin laskenta (Karhu & Kuitunen 2016)

Materiaali

Kerto S

ρ_m	510 kg/m ³	Materiaalin tiheyden keskiarvo
k_{mod}	1,1	Kuorman aikaluokan muunnoskerroin lyhytaikaiselle kuormalle
b	51 mm	Palkin leveys
h	200 mm	Palkin korkeus
Lujuus ja jäykkyysoinaisuudet		
γ_M	1	Materiaalin osavarmuusluku
Ruuvi	2*Assy VG plus 8*100	
d	6 Ruuvien halkaisija	halkaisijan määrää d:n suhde kappaleitten paksuuteen(t_1, t_2) $>4*d$, kaksileikkeisessä liitoksessa keskimmäisen kappaleen paksuus (t_s) $>5*d$
$4*d$	24 mm $<t_1, t_2$	Reunimmaisien palojen vähimmäispaksuusvaatimus
$5*d$	30 mm $<t_s$	Keskimmäisen palan vähimmäispaksuusvaatimus
k_{90}	= 1,30+0,015*d = 1,39	Materiaalista riippuva korjauskerroin
α	= 45 °	Voiman ja syyn välinen kulma

Kertopuun reunapuristuslujuus

$$\begin{aligned}
 f_{h,0,m} &= 0,082*(1-0,01*d)*\rho_m & (8.3.2) \\
 &= 0,082*(1-0,01*6)*510 \\
 &= 39,31 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Reunapuristuslujuus kulmassa α syyn suuntaan nähden

$$\begin{aligned}
 f_{h,m} &= \frac{f_{h,0,m}}{k_{90} * \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} & (8.3.1) \\
 &= 30,65 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Ruuvien myötömomentti

$$M_{yk} = 20000 \text{ Nmm} \quad (\text{Taulukkoarvo ETA-11/0190})$$

Liitospuiden paksuudet

t_1, t_2	51 mm	min	24 mm	Reunimmaisaiset kappaleet
t_s	51 mm	min	30 mm	Keskimmäinen kappale

Yhden leikkeen leikkauskestävyys

$$f_{h,m} = \text{Puun reunapuristuslujuuden keskiarvo 45-asteen kulmassa} = \min \begin{cases} f_{h,1,m} \\ f_{h,2,m} \\ f_{h,3,m} \end{cases} \quad (8.28.3S)$$

$$\begin{aligned} & \Rightarrow \min \begin{cases} 30,65 \text{ N/mm}^2 \\ 30,65 \text{ N/mm}^2 \\ 30,65 \text{ N/mm}^2 \end{cases} \\ f_{h,m} &= 30,65 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$t_u = \text{Liitospaleiden ohuimman leikkeen paksuus} = \min \begin{cases} \frac{t_1 * f_{h,1,m}}{f_{h,m}} \\ \frac{t_2 * f_{h,2,m}}{f_{h,m}} \end{cases} \quad (8.28.2S)$$

$$\begin{aligned} & \Rightarrow \min \begin{cases} \frac{51 * 30,65}{30,65} = 51 \text{ mm} \\ \frac{51 * 30,65}{30,65} = 51 \text{ mm} \end{cases} \\ t_u &= 51 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R_{T,k} = R_{T,k} = \min \begin{cases} f_{ax,45,1,m} dl_{g,1} + f_{head} d_h^2 \left(\frac{\rho_m}{\rho_a} \right) \\ f_{ax,45,2,m} dl_{g,2} \\ f_{head,m} \end{cases} = \begin{matrix} 9762,4 \text{ N} \\ 4826,9 \text{ N} \\ 11300 \text{ N} \end{matrix}$$

Yhden leikkeen leikkauskestävyyden ominaisarvo
(MetsäWood)

$$R_{T,k} = 4827 \text{ N} \quad (64)$$

$$\begin{aligned} f_{ax,45,1,k} &= F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} * f_{ax,k} * d * l_{g,1} * (\rho_m/350)^{0,8} = 8488,7 \text{ N} \\ f_{ax,45,2,k} &= F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} * k_{ax} * f_{ax,k} * d * l_{g,2} * (\rho_m/350)^{0,8} = 4826,9 \text{ N} \\ f_{ax,45,1,k} &= \text{Ruuvin läpivetokestävyyden ominaisarvo kohtisuorassa syysuuntaa vastaan kannan puoleisessa puussa (ETA 11/0190)} \\ f_{ax,45,2,k} &= \text{Ruuvin läpivetoparametrin ominaisarvo kohtisuorassa syysuuntaa vastaan kärjen puoleisessa puussa (ETA 11/0190)} \\ &\quad \text{kohtisuorassa syysuuntaa vastaan kärjen puoleisessa puussa} \\ d &= 6 \text{ mm} \quad \text{Ruuvin paksuus} \\ l_{g,1} &= 51 \text{ mm} \quad \text{Ruuvin tunkeuma kannan puoleisessa puussa} \\ l_{g,2} &= 29 \text{ mm} \quad \text{Ruuvin tunkeuma kärjen puoleisessa puussa} \\ f_{tens,k} &= 11 \text{ kN} \quad \text{Ruuvin vetomurtokestävyyden ominaisarvo (ETA 11/0190)} \end{aligned}$$

$f_{head,k}$	=	13 N/mm ²	EN 14592 mukainen läpivetolujuuden ominaisarvo kohtisuorassa syysuuntaa vastaan	
d_h	=	8,2 mm	Ruuvien kannan paksuus	
ρ_{mean}	=	510 kg/m ³	Materiaalin tiheyden keskiarvo	
ρ_a	=	350 kg/m ³	Laskuissa käytetyn ruuvien ulosvetolujuusparametrin mukainen puumateriaalin vertailutiheys (ETA11/0190)	
$f_{ax,45,k}$	=	15,5 N/mm ²	Ulosvetokestävyyden ominaisarvo kulmassa 45-astetta (MetsäWood)	
			(Taulukko 7, Ruuviliitosten mitoitus, MetsäWood 2012)	
$f_{ax,k}$	=	11 N/mm ²	Ulosvetolujuuden ominaisarvo puuntiheydellä ρ_a (ETA 11/0190)	
n_{ef}	=	1,866 kpl	Ruuvien tehollinen lukumäärä (ETA 11/0190)	(1.6)
			MAX($n^{0,9}$; 0,9*n)	
k_{ax}	=	1	Ruuvien ja syyn välisestä kulmasta johtuva kerroin (ETA11/0190)	

$$R_k = n^{0,9} * RT_{,k} * (\cos\alpha + \mu\sin\alpha) \quad \text{Liittimien leikkauskestävyys tarkasteltavassa leikkeessä (MetsäWood)} \quad (64)$$

$$= 8917 \text{ N}$$

$$n = 2 \text{ kpl} \quad \text{ruuvien lkm liitoksessa.}$$

$$\mu = 0,4 \quad \text{Liikekitkakerroin (Kerto lapepinta)}$$

$$\alpha = 45^\circ \text{ ruuvauskulma}$$

Koko liitoksen kapasiteetti liittimen kannalta. Liitoksessa ruuveja 4kpl (n=4) ja leikkeitä per ruuvi 1 kpl (m=1).

m	1 kpl	leikkeiden lukumäärä/ruuvi
n	4 kpl	ruuvien lukumäärä liitoksessa

(8.0.1S)

$$R_{liitos,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * m * n * R_k$$

$$= 39234 \text{ N}$$

$$39 \text{ kN / liitos}$$

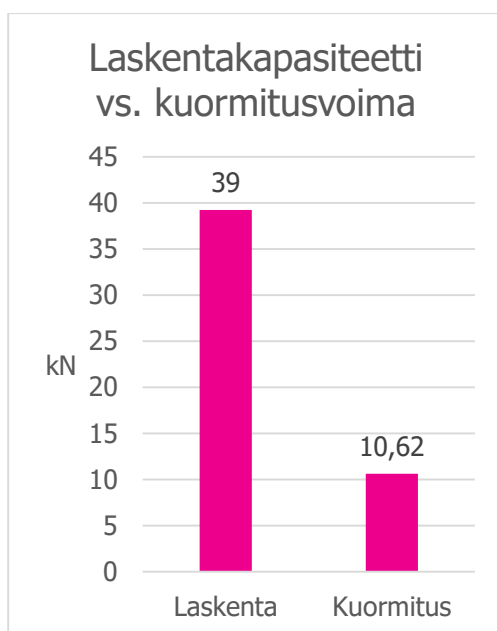
2.3.2 Liitoksen testaus ja tulokset

Esimerkissä 3 lasketusta kokonaiskapasiteetista huolimatta liitosta kuormitettiin vain sellaisella kuormalla, että liitoksen siirtymäksi saatiin 1 cm. Liitoksen laskuissa ja toteutuksessa tapahtui virhe, sillä kärjen puoleinen tunkeuma ei ollut riittävä. Tunkeuman vähimmäisvaatimus kärjen puoleisessa puussa on 6d eli 36 mm. Koska liitosta ei kuormitettu murtoon asti, tämä ei aiheuttanut toimenpiteitä. Liitoksen leikkauksesta käy siitä huolimatta ilmi kuormituksesta johtuvat muodonmuutokset ruuvissa, vaikkakin ne ovat vähäisiä.



KUVA 9. Veturuuviliitoksen leikkaus (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvasta 9 voidaan huomata, että ruuvit ovat kuormituksesta ja siirtymästä johtuen taipuneet leikkeen kohdalta erittäin vähän. Tämä voi osaltaan johtua ruuvien liikkeestä puun sisällä ja siitä, että kyseisellä porauskulmalla ei ruuvien myötömomentti ylity, joten ruuvi on palautunut lähelle alkuperäistä muotoaan.



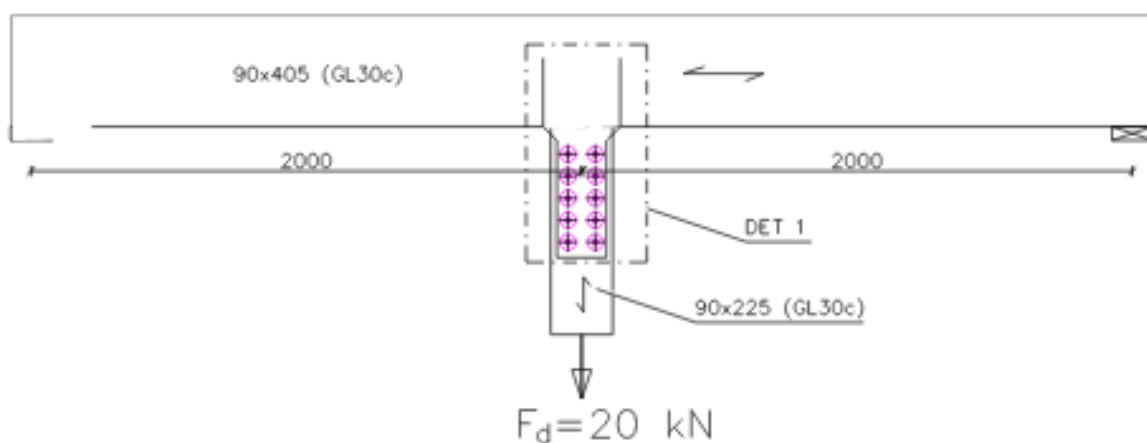
KUVIO 3. Vetoruuviliitoksen tulosten vertailu (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuviosta 3 käy ilmi, että kuormituskokeessa käytetty kuorma on 28,38 kN pienempi, kuin liitokselle laskettu kokonaiskapasiteetti. Vaikka koekappaletta tehdessä tapahtui ruuvin tunkeuman suunnitteluvirhe, ei kappale olisi todennäköisesti kestänyt 39 kN kuormaa. Koekuormituksessa 10,62 kN:n voimalla painettaessa, alkoi ruuviliitokset myötäämään niin paljon, että 1 cm siirtymä tapahtui miltei heti ja koe keskeytettiin nopeasti, ettei koekappale hajoaisi kuormituskapasiteetin ylittyessä. Ruuvin kärjen puolen tunkeuman täytyy olla vähintään $6 \cdot d$, väärä suunnitteluvarjo liian pienestä tunkeumasta kärjen puoleisessa puussa. Laskentakaavat ottavat kuitenkin huomion ruuvin tunkeuman kärjen puoleisessa puussa, mutta opintomateriaaliin lisättiin Excel-taulukko kaava, joka varoittaa liian pienestä tunkeumasta kärjen puoleisessa puussa. Tunkeuman ollessa suurempi, olisi liitoksen kokonaiskestävyys ollut myös suurempi, suuremman ruuvipinta-alansa johdosta.

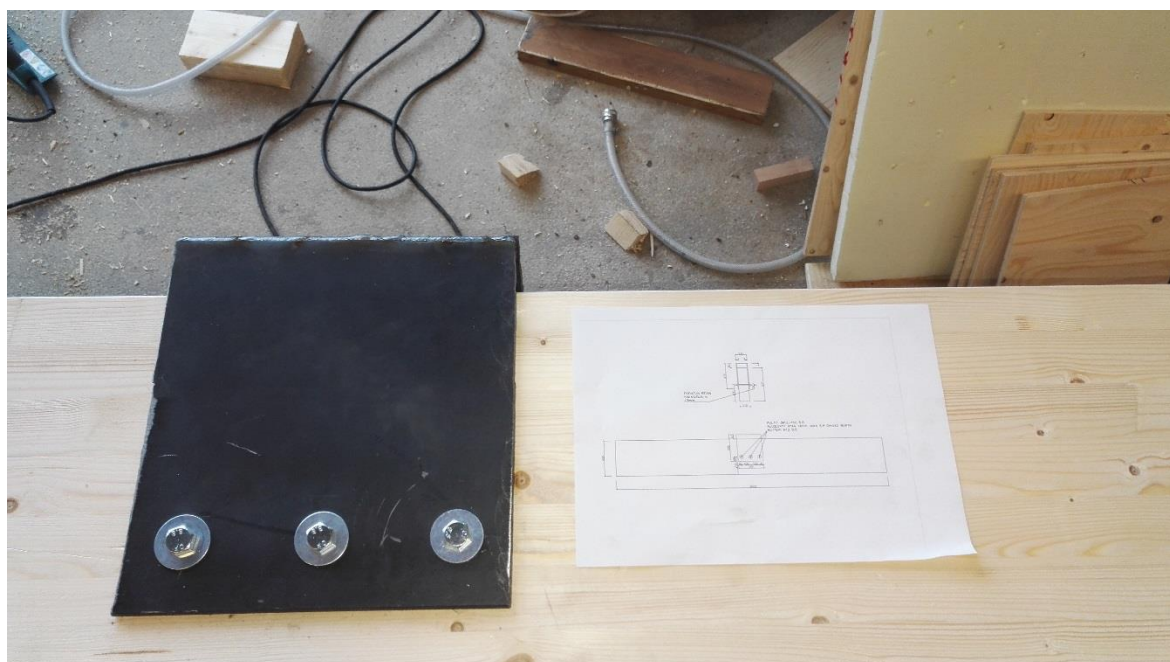
Myös laskujen kaavoissa oli ongelmaa, sillä ruuvin lujuusominaisuuksien arvot ovat ominaisarvoja, eivätkä keskiarvoja. Tästä syystä lasku ei anna täysin oikeaa tulosta, mutta koska ruuvien keskiarvot ovat suurempia kuin ominaisarvot, oli laskennallinen tulos vielä pienempi kuin keskiarvoilla laskettaessa.

3 LIIMAPUUN RIPUSTUSKUORMA

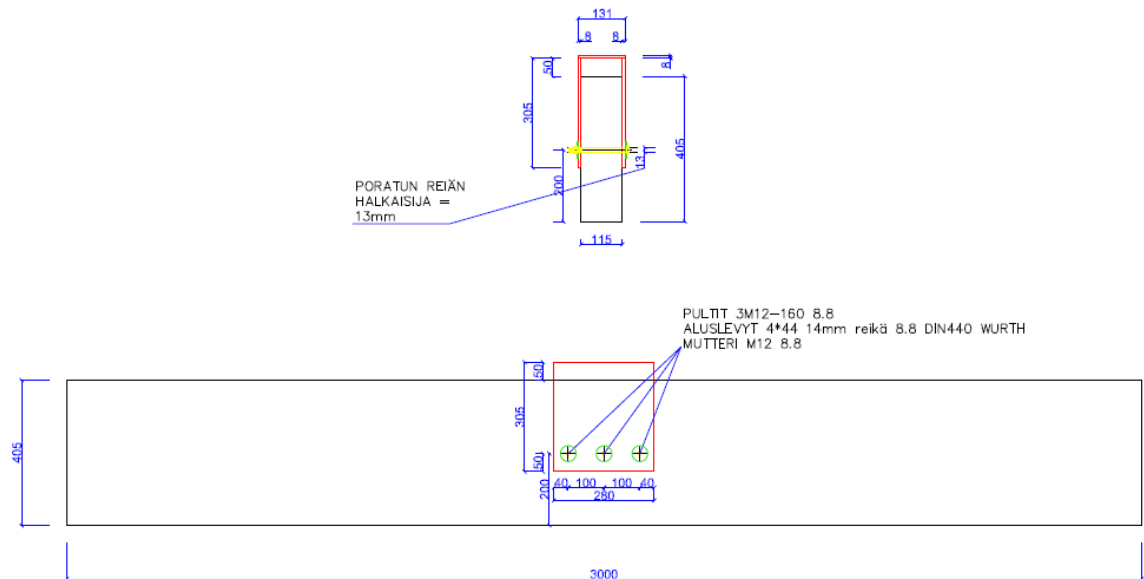
Liimapuun ripustuskuormasta aiheutuvasta halkeamismurrosta tutkittiin murtotapahtumaa ja siinä tapahtuvia pultin painumisesta johtuvia siirtymiä. Palkkina käytettiin liimapuupalkista tehtyä 3 m:n kappaletta, jonka keskelle oli asennettu kuormitustyökalu, jolla voitiin ripustuskuormasta aiheutuvaa poikittaista syitä vastaan kohtisuoraan olevaa vetoa simuloida. Kuormitustyökalua käytettiin koska koejärjestely oli helpompi tehdä painamalla kappaletta vetämisen sijasta. Kuormitustyökalu asennettiin palkkiin käyttäen 12 x 160 mm pultteja.



KUVA 10. Ripustuskuorman lähtömalli. Vetosauva on korvattu kuormitustyökalulla (Karhu & Kuitunen 2016)



KUVA 11. Ripustuskuormitettu palkki (Karhu & Kuitunen 2016)



KUVA 12. Ripustuskuorman kokoonpanokuva (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa 11 ja 12 näkyy vetämisen sijasta käytetty kuormitustyökalu ja sijainti, jota käytettiin palkin kuormittamisessa.

3.1 Ripustuskuorman teorialaskut

Seuraavaksi on esitelty ripustuskuorman teorialasku, josta käy ilmi liitoksen kestävyys.

Alla esitetyt lujuusominaisuuksien arvot ovat keskiarvoja. Lasku on laskettu käyttäen esimerkkinä PuuInfon laskua "Poikittainen veto ja läpilohkeaminen" josta on jätetty vedetyn sauvan läpilohkeamislasku pois.

Kaavaviittaukset puurakenteiden suunnitteluohje (RIL 1-205-2009).

ESIMERKKI 4. Ripustuskuorman kapasiteetin laskeminen (Karhu & Kuitunen 2016)

b	=	115	Palkin leveys
h	=	405	Palkin korkeus
h _e	=	200	Liitoskohdan korkeus palkissa
k _{mod}	=	1,1	Kuorman aikaluokan muunnoskerroin lyhytaikaiselle kuormalle
γ _M	=	1	Materiaalin osavarmuusluku
F _{90,d,100%}	=	70,41 kN	Palkin 100 % käyttöasteen kuorma

Ripustuskuorman teorialasku

F _{v,Ed}	=	10 kN	Puun syitä vastaan kohtisuoraan vaikuttava leikkausvoima
-------------------	---	-------	--

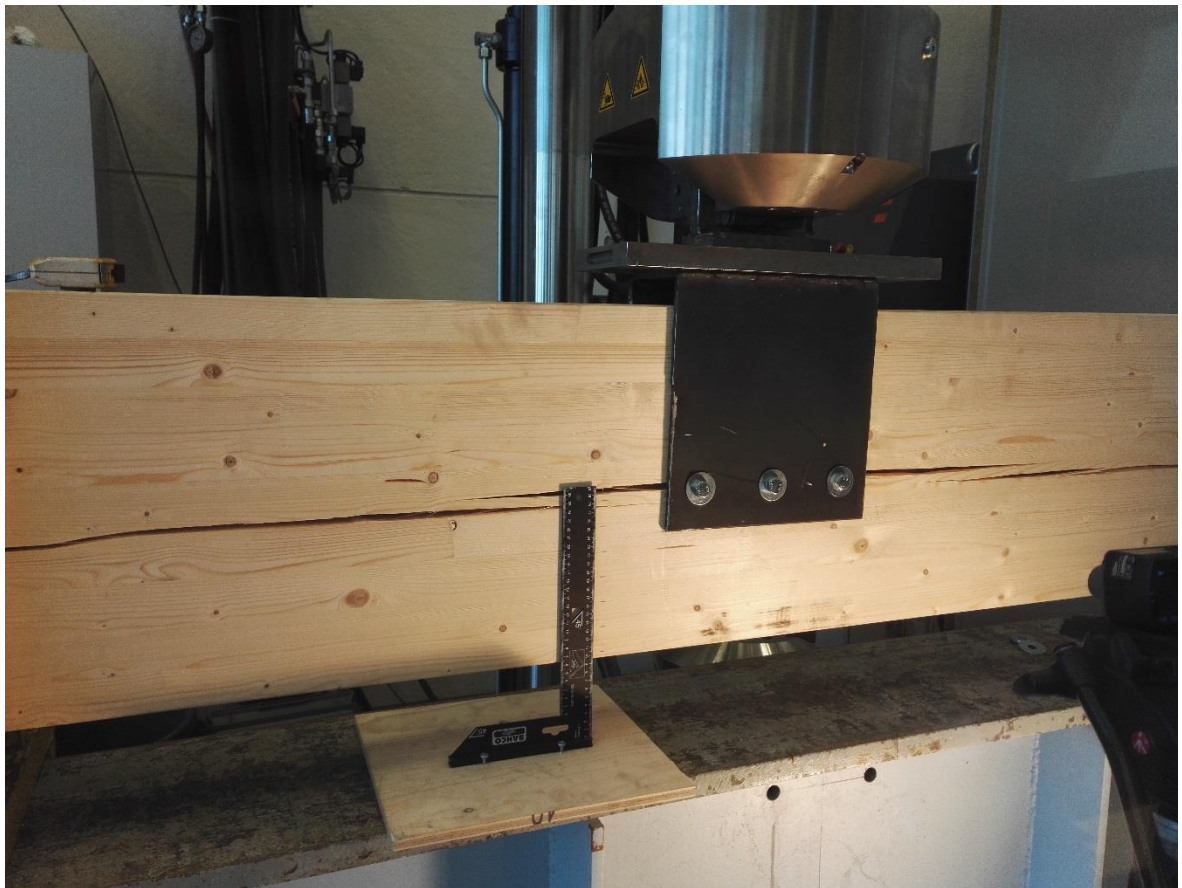
$$F_{90,d} = 14 \times b \times \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \quad (8.4)$$

F _{90,d}	=	35203 N	35,2 kN	Puun halkeamiskestävyyden mitoitusarvo
-------------------	---	---------	---------	--

PALKIN 100% KÄYTTÖASTEEN KUORMA	(F _{90,d,100%})	70,41 kN
---------------------------------	---------------------------	----------

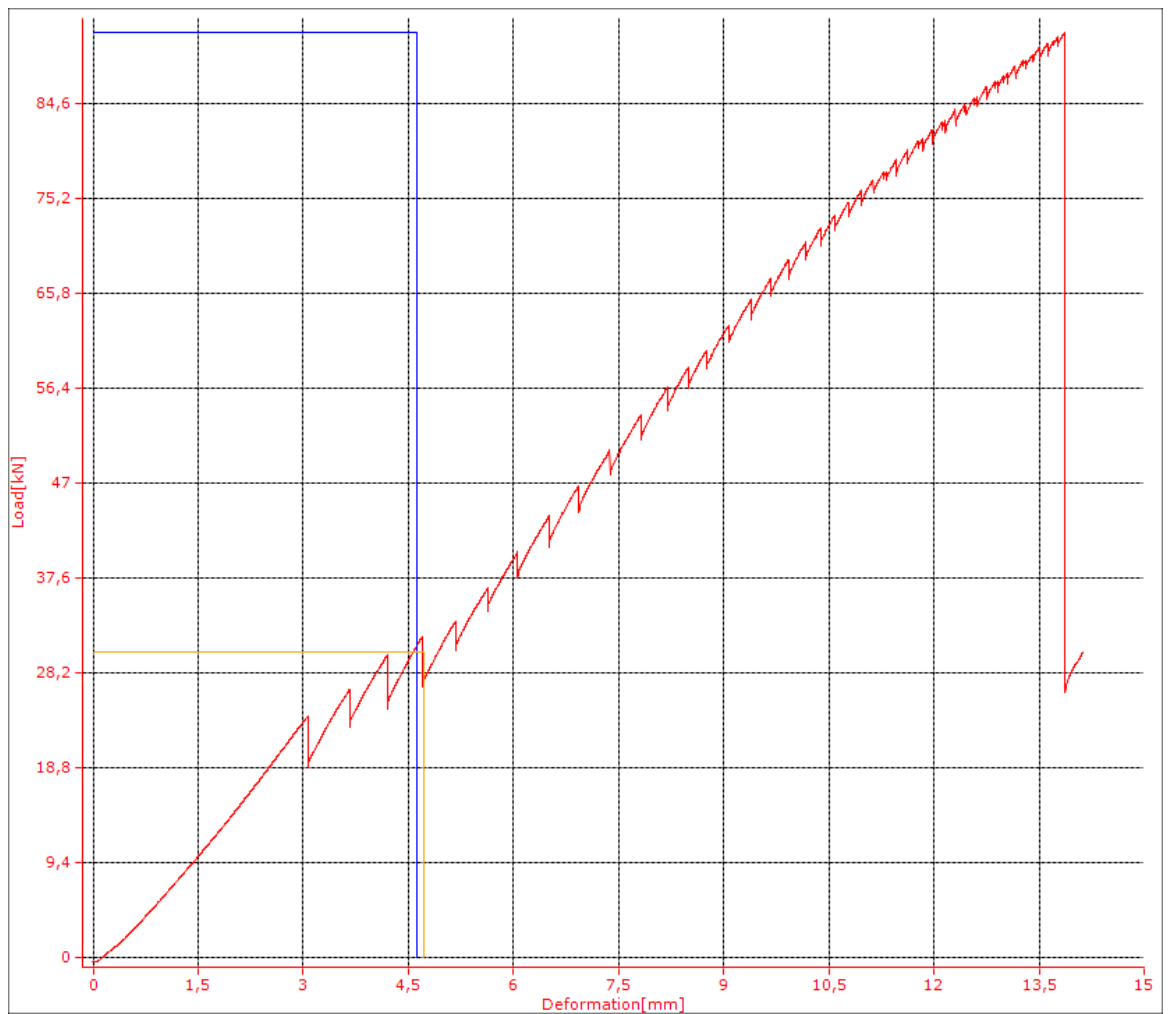
3.2 Liitoksen testaus ja tulokset

Palkin testaus tapahtui hydraulisella kuormituskoneella, jolla kuormitustyökalua painettiin tietyllä nopeudella palkin maksimitaipuman mukaan. Palkkia kuormitettiin niin kauan, että palkki murtui kuormituksen alla. Kuormitustyökalun pultit olivat kiristetty 60 Nm:n momenttiin. Palkin kokeen aikainen kosteusprosentti oli 11,5%.



KUVA 13. Ripustuskuormitetun palkin pituussuuntainen halkeamismurto (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa näkyy palkin murtotapahtuma josta huomataan, että palkki halkesi pituussuunnassa kuormitustyökalun kiinnityskohdasta. Tämä johtuu siitä, että puun syiden välinen vetokestävyys ylittyi. Kuvasta näkyy myös, että halkeminen siirtyi syyltä toiselle symmetrisesti kuormitustyökalun molemmilla puolilla.



KUVA 14. Ripustuskuormitetun palkin murtokäyrä (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa 14 näkyy palkin kuormituksen ja taipuman perusteella muodostunut murtokäyrä. Sahalaitakuvio johtuu siitä syystä, että pultit olivat kiristetty momenttiin jolloin kuormitustyökalu liikkui palkin ympärillä palkin taipumisesta johtuen. Tämä ei kuitenkaan häirinnyt koetilannetta, sillä palkki kuormitettiin murtoon saakka, jolloin palkin halkeamistilanteessa kuormitus oli 91,6 kN. Käyrän perusteella voidaan myös todeta, ettei pulttien myötölujuus ylittynyt. Kuvissa 15 ja 16 on otettu liitoksesta tarkemmat kuvat, joissa nähdään pultin painuminen puuhun.

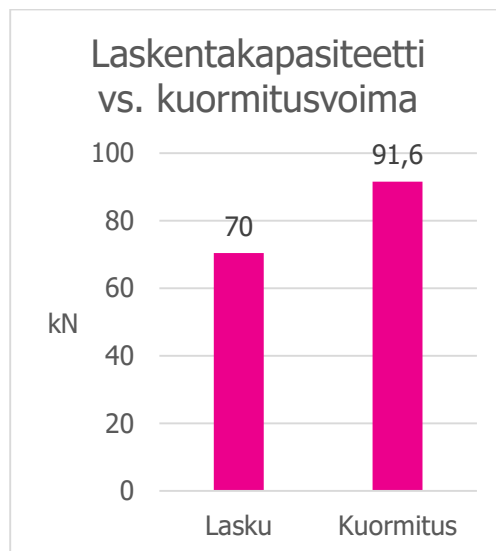


KUVA 15. Ripustuskuormitetun palkin leikkaus (Karhu & Kuitunen 2016)



KUVA 16. Ripustuskuormitetun palkin leikkaus (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvista 15 ja 16 nähdään, etteivät pultit taipuneet kuormituksessa, mutta pultit painuivat puuhun aiheuttaen pultin alla siirtymän. Siirtymän koko oli noin 8 mm.



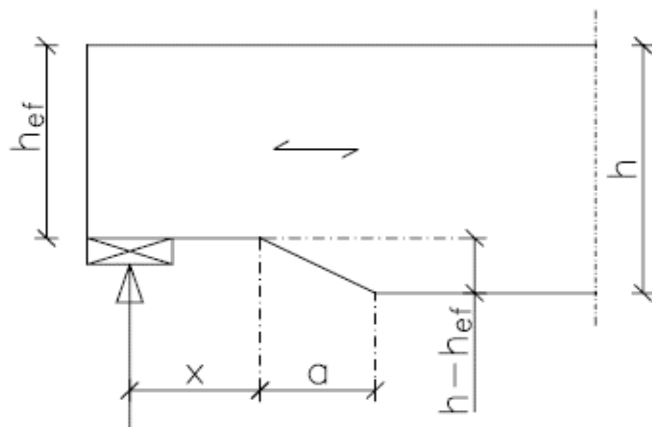
KUVIO 4. Ripustuskuorman tulosten vertailu (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuviosta 4 käy ilmi laskennallisen tuloksen ja kuormituskokeen välinen ero. Laskentatuloksesta poiketen palkki murtui vasta kuormitusvoiman ylitettyä laskentatuloksen 21,6 kN:lla. Palkin kuormituskestävyys oli 31 % laskennallista tulosta suurempi. Liitos on varmalla puolella, koska kuormituskokeessa palkin kestävyys ylitti laskennallisen tuloksen.

Esimerkissä 4 laskettu halkeamiskestävyyden mitoitusarvo antaa jo syyn kaavan tarkemmalle tutkimiselle. Kaavassa oli laskettu halkeamiskestävyyden arvo pelkästään palkin geometrialla, eikä kaavaan sisälly yhtään lujuusominaisuuksien arvoa.

4 LIIMAPUUPALKIN LOVIVAIKUTUS JA LOVEN RUUVIVAHVISTUS

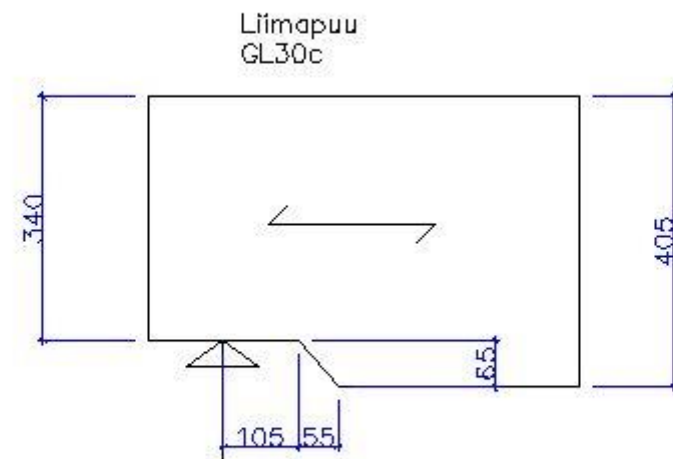
Liimapuun on painoonsa nähden varsin luja materiaali. Tämä mahdollistaa liimapuupalkkien pitkän jännevälin, kun palkin omapaino ei nouse liian suureksi. Liimapuun loveaminen heikentää palkin kestävyyttä, sillä lujuusominaisuudet määräytyvät heikoimman poikkileikkauksen mukaan (Liimapuukäsikirja, osa 1, sivu 22). Loven mitat vaikuttavat näin ollen palkin kestävyys, koska palkin poikkileikkaus muuttuu epäedullisemmaksi. Leikkausjännitykset lasketaan tällöin käyttämällä tehollista, pienennettyä korkeutta h_{ef} (RIL 205-1-2009 s.85/ kuva 6.14). Kun tuelta lovettua palkkia kuormitaan, pyrkii palkki halkeamaan pituussuunnassa loven reunan kohdalta. Ruuvivahvistuksella on tarkoitus estää halkeaman eteneminen puussa. Tämä tapahtui käytännössä ruuvaamalla ruuvi palkin pohjaan 60 mm:n päähän loven reunasta. Ruuvina käytettiin Assy Plus VG ruuvia, jonka koko oli 8 mm x 160 mm. Kuvassa 17 on esitetty loven mitoituksessa suunniteltavat mitat. Esimerkeistä pois jätetyt kuormien laskut löytyvät liitteestä 1.



KUVA 17. Loven suunnittelun ohje (Karhu & Kuitunen 2016)

4.1 Liimapuu ilman ruuvia

Opinnäytetyön päätarkoituksena oli selvittää mikä ero on lovetun palkin lovivaikutuksella ruuvivahvistetussa ja vahvistamattomassa palkissa. Liimapuupalkkiin sahattiin moottorisahalla 210 mm pitkä ja 65 mm korkea lovi, jonka viisten pituus oli 50 mm (kuvat 18 ja 19). Loven vaikutus liimapuupalkin laskennalliseen leikkauskestävyyteen on esitetty seuraavassa kohdassa 4.1.1.



KUVA 18. Liimapuupalkin lovisuunnitelma (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa 18 näkyy liimapuupalkkiin suunnitellun loven mitat. Tehollinen korkeus h_{ef} on 340 mm.



KUVA 19. Liimapuupalkin lovi (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa 19 näkyy sahattu lovi, jota työstettiin sahaamisen jälkeen vielä viilalla, jotta epätasaisuudet saatiin pois. Palkki on kuvassa ylösalaisin.

4.1.1 Liimapuu ilman ruuvia teorialaskut

Seuraavaksi on esitelty liimapuupalkin lovivaikutuksen teorialasku, josta käy ilmi loven leikkauskestävyys.

Alla esitetyt lujuusominaisuuksien arvot ovat ominaisarvoja.

Taulukko- ja kaavaviittaukset puurakenteiden suunnitteluohjeeseen (RIL 205-1-2009).

ESIMERKKI 5. Liimapuupalkin lovivaikutus (Karhu & Kuitunen 2016)

KUORMIEN LASKU LIITTEESSÄ 1

3. Materiaali

Liimapuupalkki GL30c

b = 115 mm

h = 405 mm

$$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \leq 1,1 \quad 1,04$$

Aikaluokka: Hetkellinen

Käyttöluokka: 1 Laboratoriokokeessa havupuun kosteusprosentti <12%

k_{mod} = 1,1 taulukko 3.1

(RIL 205-1-2009)

Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

γ_M = 1 taulukko 2.10-FI

(RIL 205-1-2009)

leikkauskestävyyden ominaisarvo

$f_{v,k}$ = 3,2 N/mm² taulukot 3.3S, 3.4S ja 3.5S

(RIL 205-1-2009)

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$f_{v,d} = k_{mod}/\gamma_M \cdot f_{v,k} = 3,52 \text{ N/mm}^2$$

(2.17)

Laboratoriokokeen vuoksi mitoituksessa ei käytetä materiaalivearmuuskerointa ($\gamma_M=1$)

4. Mitoitus

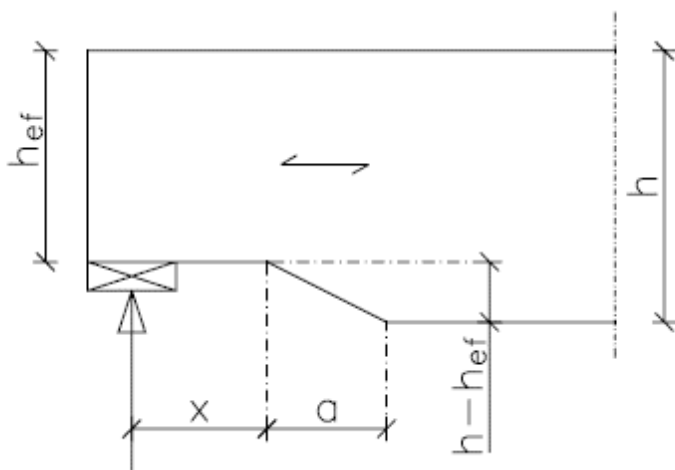
Kiepahdus estetty, ei huomioida kiepahdusriskin aiheuttamaa pienennyskerrointa

4.1 Loven mitoitus

(Taulukko- ja kaavaviittaukset ohjeeseen RIL 205-1-2009)

Kun palkin poikkileikkaus on suorakaide ja syyt ovat lähes sauvan pituusakselin suuntaiset, lasketaan leikkausjännitykset tuella olevan loven kohdalla käyttämällä tehollista (pienennettyä) korkeutta

h_{ef} (RIL 205-1-2009 s.85 kohta 6.5.2)



Seuraavan ehdon tulee täytyä:

$$\tau = \frac{1,5 * V_d}{b_{ef} * h_{ef}} \leq k_v * f_{v,d} \quad (6.60)$$

,jossa

k_v on lovetun palkin pienennyskerroin

$$k_v = \frac{k_n * (1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h} * (\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})} \text{ kuitenkin enintään } 1,0 \quad (6.62)$$

,jossa

$$k_n = \begin{cases} 5,0 & \text{sahatavara} \\ 6,5 & \text{liimapuu} \\ 4,5 & \text{LVL yleensä} \\ 6,0 & \text{Kerto-S -LVL} \\ 16,0 & \text{Kerto-Q -LVL} \end{cases} \quad (6.62.2S)$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} \quad (6.62.1S)$$

$$i = \frac{a}{h - h_{ef}}$$

tarkistetaan käyttöluokan vaatimus palkin teholliseen leveyteen $b_{eff}=0,67*b$

koska kyseessä on liimapuu ja käyttöluokka 1, tarvitsee tehollinen leveys ottaa huomioon:

b_{eff}	$k_{cr} * b =$	77,05 mm	tehollinen leveys
h	$=$	405 mm	korkeus
h_{ef}	$=$	340 mm	tehollinen korkeus
x	$=$	105 mm	tukireaktion etäisyys loven nurkasta millimetreinä
a	$=$	55 mm	loven pituus
$h-h_{ef}$	$=$	65 mm	loven korkeus
α	$=$	0,84	korkeuden suhde teholliseen korkeuteen
i	$=$	0,846154	loven kaltevuus
k_n	$=$	6,5	

$$k_v = \frac{k_n * (1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h * (\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0 \quad (6.62)$$

$$k_v = 0,64748 \quad \text{materiaalikerroin} \quad (6.62.2S)$$

$$\tau = k_v * f_{v,d} = 2,28 \quad \text{N/mm}^2$$

Palkin maksimileikkauskestävyys

$$V_{d,lovettu} = \frac{\tau * b_{ef} * h_{ef}}{1,5} = \frac{2,28 * 77,05 * 340}{1,5}$$

39,80 kN

$$P_d = V_{d,lovettu} * 2$$

79,61 kN

Esimerkissä 5 on esitetty vahvistamattoman liimapuupalkin teorialasku loven vaikutuksesta palkin leikkaukestävyyteen. Koska kyseessä oli laboratoriokoe, tarkoituksena oli laskea kuorma P_d , jolla lovetun palkin leikkauskestävyyden 100%:n kapasiteetti saadaan aikaiseksi. Seuraavaksi on vertailtu lovetun palkin ja loveamattoman palkin leikkauskestävyyttä teoriassa.

Leikkauskestävyys

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

$$V_d = \frac{f_{v,k} * b * h}{1,5}$$

$$= 109,296 \text{ kN}$$

Lovetun ruuvivahvistamattoman palkin suhde loveamattomaan palkkiin

$$\frac{V_{d,lovettu}}{V_d} * 100 = 36 \%$$

Lovi heikentää palkin leikkauskestävyyttä

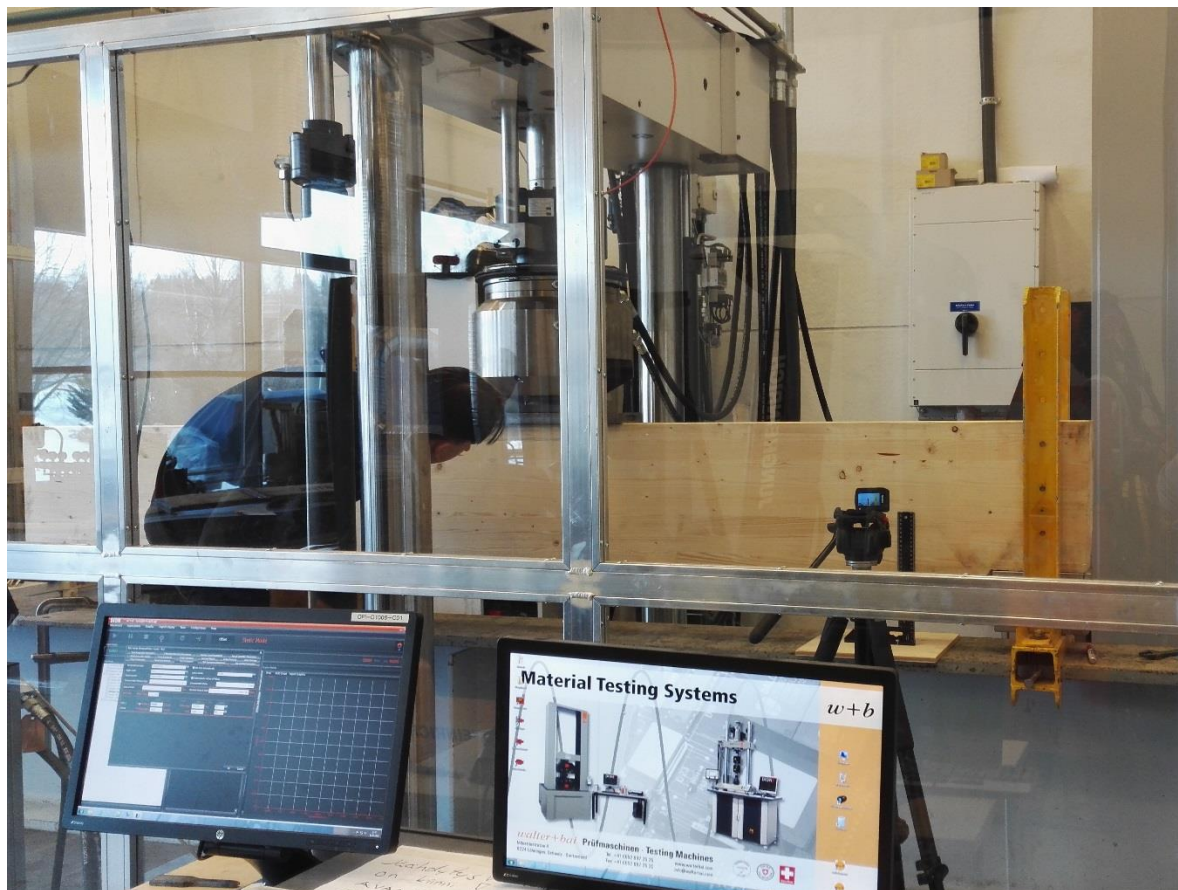
64 %

Yllä olevasta laskusta käy ilmi, että lovi heikentää liimapuupalkin leikkauskestävyyttä 64 %.

Loveamattoman palkin leikkauskestävyys laskennallisesti olisi jopa 109,3 kN. Lovetun ja loveamattoman palkin ero voidaan tutkia testaamalla loveamaton palkki.

4.1.2 Liimapuu ilman ruuvia testaus ja tulokset

Palkin testaus tapahtui hydraulisella kuormituskoneella, jolla palkkia painettiin tietyllä nopeudella palkin maksimitaipuman mukaan. Palkkia kuormitettiin niin pitkään, että lovi murtui. Palkin kokeen aikainen kosteusprosentti oli 11,7 %.



KUVA 20. Lovetun liimapuupalkin asentaminen kuormituskehälle (Karhu & Kuitunen 2016)

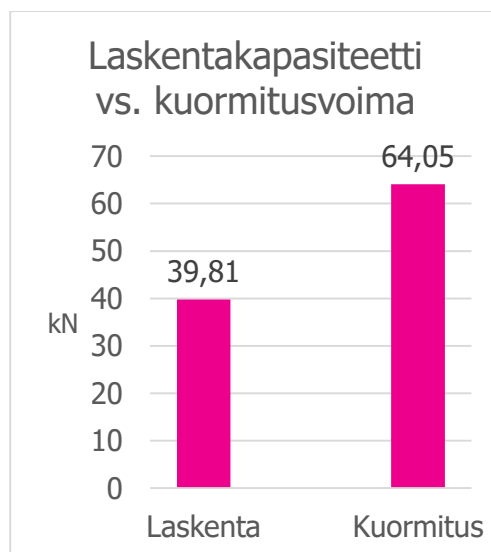


KUVA 21. Lovetun liimapuupalkin asentaminen kuormituskehälle (Karhu & Kuitunen 2016)



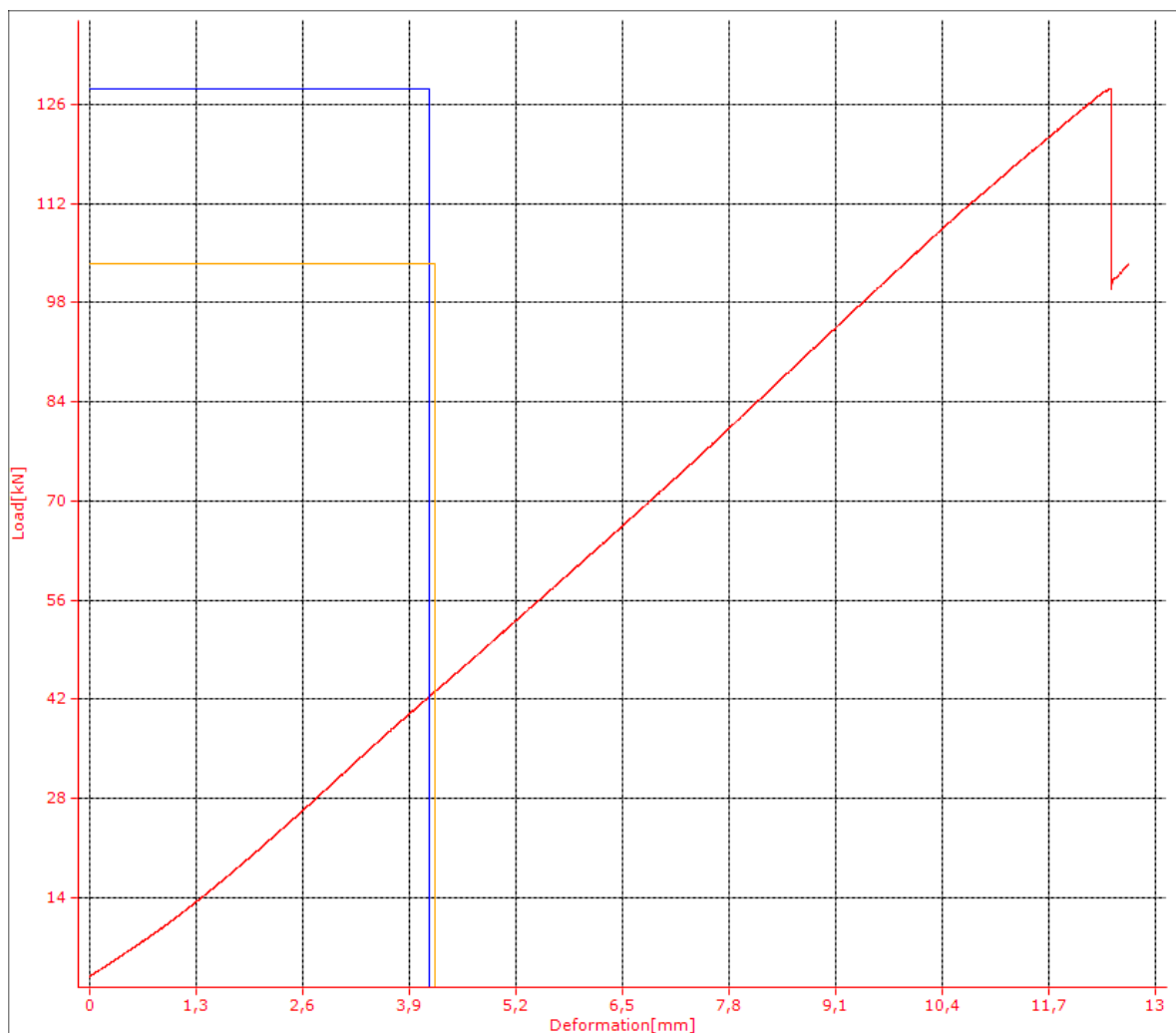
KUVA 22. Loven kohdalta tapahtunut halkeaminen (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuten kuvasta 22 käy ilmi, halkeaminen tapahtui loven reunasta, kuten oli arvioitu. Halkeamismurto tapahtui, kun kuormitus oli 128,2 kN.



KUVIO 5. Ruuvivahvistamattoman liimapuupalkin tulosten vertailu (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuviosta 5 käy ilmi laskennallisen tuloksen ja kuormituskokeen välinen ero. Laskentatuloksesta poiketen lovi murtui vasta kuormitusvoiman ylitettyä laskentatuloksen 24,24 kN:lla. Kuormituskestävyys oli 61 % laskennallista tulosta suurempi. Liitos on varmalla puolella, koska kuormituskokeessa palkin kestävyys ylitti laskennallisen tuloksen.



KUVA 23. Palkin murtokäyrä (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvasta 23 käy ilmi palkin taipuma, kun kuormitus oli 128,2 kN. Taipuma oli tuolloin 12,45 mm palkin tuentavälin keskellä.

4.2 Liimapuu ruuvivahvistus

Liimapuupalkin ruuvivahvistus laskettiin käyttämällä Puuinfon Palkin vetopuolen lovi -esimerkkilaskua. Ruuvien kapasiteetti laskettiin ETA-11/0190 standardissa esitettyjen kaavojen mukaan. Kaava-vahtaukset ovat merkitty oikeaan laitaan.

4.2.1 Liimapuu ruuvivahvistus teorialaskut

Alla olevassa laskussa on esitetty loven ruuvivahvistuksen teorialasku.
(Kaavavahtaukset ohjeeseen RIL-205-1-2009 ja ETA-11/0190)

ESIMERKKI 6. Liimapuupalkin loven ruuvivahvistus (Karhu & Kuitunen 2016)

4.2 Loven vahvistus ruuvilla

Loven vahvistaminen Assy Plus VG ruuvilla 8 x 160,
joka porataan palkin alapuolelta keskelle palkkia:

ruuvien pituus	=	160 mm
ruuvien lukumäärä	=	1 kpl
d	=	8 mm

Vahtimus:

$$L_{ed,2} \geq L_{ed,1} \rightarrow (160-65)\text{mm} \geq 50\text{mm} \rightarrow \text{OK !}$$

Lisäksi ruuvien etäisyys loven reunasta

$$a_{1,c} \geq 40\text{mm}$$

Ruuvien etäisyys reunasta 60 mm

Lasketaan ruuville tuleva kuorma (DIN 1995-1-1/NA:2013-08 mukaan):

$$F_{t,90,d} = 1,3 * V_d * (3 * (1 - \alpha)^2 - 2 * (1 - \alpha)^3)$$

ETA 11/0190 kaava
(3.2)

Yllä olevassa kaavassa α on esimerkissä 5 esitetty palkin tehollisen korkeuden suhde koko palkin korkeuteen. V_d on mitoituskuormista aiheutuva leikkausvoima ks. liite 1

V_d	=	26,27 kN
α	=	0,84
$F_{t,90,d}$	=	2,36 kN

Lasketaan yhden ruuvien vetokapasiteetti (ETA-11/0190:n mukaan)

Vetolujuus kannan puolella

ruuvien lkm		1
$f_{tens,k}$	=	20 kN
α	=	90 °
$\rho_{m,1}$	=	470 kg/m ³
$k_{ax,1}$	=	1 $\alpha \geq 45^\circ$
ρ_a	=	350 kg/m ³
$f_{ax,k}$	=	11 N/mm ² (d=8mm)
d	=	8 mm
$l_{g,1}$	=	65 mm

$$F_{ax,90,1,k} = k_{ax,1} * f_{ax,k} * \left(\frac{\rho_{m,1}}{\rho_a}\right)^{0,8} = 13,9 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ETA} \quad (1.5)$$

$$f_{head,m} = 13 \text{ N/mm}^2 \quad (d_h=10\text{mm} \leq 19\text{mm})$$

$$d_h = 10 \text{ mm}$$

$$R_{T,1,m} = f_{ax,90,1,k} * d * l_{g1} + f_{head,k} * d_h^2 * \left(\frac{\rho_{m,1}}{\rho_a}\right)^{0,8} \quad \text{RIL} \quad (8.8.3S a)$$

$$= 8,9 \text{ kN}$$

ruuvien yhteenlaskettu kapasiteetti

$$= 8,9 \text{ kN}$$

,jossa

$$f_{tens,k} = \text{Ruuvin vetomurtokestävyyden ominaisarvo} \\ \text{(Taulukko 7, Ruuviliitosten mitoitus, MetsäWood 2012)}$$

$$\alpha = \text{ruuvauskulma}$$

$$\rho_{m,1} = \text{Materiaalin tiheyden keskiarvo}$$

$$k_{ax,1} = \text{Ruuvin ja syyn välisestä kulmasta johtuva kerroin (ETA11/0190)}$$

$$\rho_a = \text{Laskuissa käytetyn ruuvin ulosvetolujuusparametrin} \\ \text{mukainen vertailutiheys}$$

$$f_{ax,k} = \text{Ulosvetolujuuden ominaisarvo puuntiheydellä } \rho_a$$

$$d = \text{Ruuvin paksuus}$$

$$l_{g,1} = \text{Ruuvin tunkeuma kannan puoleisessa puussa}$$

$$F_{ax,90,1,k} = \text{Ruuvin läpivetokapasiteetin ominaisarvo kulmassa } \alpha \\ \text{syysuuntaan nähden} \\ \text{(RIL 205-1-2009, 8.7.2 Pituussuunnassa kuormitetut ruuvit, 8.40b)}$$

$$f_{head,k} = \text{EN 14592 mukainen läpivetolujuuden arvo kohtisuorassa syytä vastaan} \\ \text{(ETA11/0190)}$$

$$d_h = \text{Ruuvin kannan paksuus}$$

$$R_{T,1,k} = \text{Liittimien leikkauskestävyys tarkasteltavassa leikkeessä}$$

Vetolujuus kärjen puolella

$$\text{ruuvien lkm} = 1$$

$$\alpha = 90 \text{ deg}$$

$$\rho_{m,2} = 470 \text{ kg/m}^3$$

$$k_{ax,2} = 1 \quad \alpha \geq 45^\circ$$

$$\rho_a = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{ax,k} = 11 \text{ N/mm}^2 \quad (d=8\text{mm})$$

$$d = 8 \text{ mm}$$

$$l_{g,2} = 95 \text{ mm}$$

$$F_{ax,90,2,k} = k_{ax,2} * f_{ax,k} * \left(\frac{\rho_{m,2}}{\rho_a}\right)^{0,8} = 13,926 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{T,2,k} = f_{ax,90,1,k} * d * l_{g2} \quad \text{RIL} \quad (8.8.3 b)$$

$$= 10,6 \text{ kN}$$

ruuvien yhteenlaskettu kapasiteetti

$$= 10,6 \text{ kN}$$

,jossa

$$\alpha = \text{ruuvauskulma}$$

$$\rho_{m,2} = \text{Materiaalin tiheyden keskiarvo}$$

$$k_{ax,2} = \text{Ruuvin ja syyn välisestä kulmasta johtuva kerroin (ETA11/0190)}$$

$$\rho_a = \text{Laskuissa käytetyn ruuvin ulosvetolujuusparametrin mukainen vertailutiheys}$$

$$f_{ax,k} = \text{Ulosvetolujuuden ominaisarvo puuntiheydellä } \rho_a$$

$$d = \text{Ruuvin paksuus}$$

$$l_{g,2} = \text{Ruuvin tunkeuma kärjen puoleisessa puussa}$$

$$F_{ax,90,2,k} = \text{Ruuvin läpivetokapasiteetin ominaisarvo kulmassa } \alpha \text{ syysuuntaan nähden (RIL 205-1-2009, 8.7.2 Pituussuunnassa kuormitetut ruuvit, 8.40b)}$$

$$R_{T,2k} = \text{Liittimien leikkauskestävyys tarkasteltavassa leikkeessä}$$

Vetoruuvien ominaiskapasiteetti

$$R_{T,k} = \min(R_{T,1,k}; R_{T,2,k}; f_{tens,k})$$

$$8,9 \text{ kN}$$

Vetoruuviliitoksen mitoituskapasiteetti

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} * R_k \quad 8,9 \text{ kN}$$

$$k_{mod} = 1,1 \quad \text{Kuorman aikaluokan kerroin}$$

$$\gamma_M = 1 \quad \text{Materiaalin osavarmuusluku}$$

Alla on laskettu ruuvien kestävyys R_d avulla laboratoriokokeessa vaadittava kuormitusvoima P_d ja ruuvien maksimikestävyys $V_{d,ruuvien maksimikestävyys}$

$$V_{d,ruuvien maksimikestävyys} = \frac{R_d}{1,3 * (3 * (1 - \alpha)^2 - 2 * (1 - \alpha)^3)}$$

$V_{d,ruuvien maksimikestävyys}$	=	99,07 kN	ruuvien maksimi-leikkauskestävyys
----------------------------------	---	-----------------	--

$$P_d = V_{d,ruuvien maksimikestävyys} * 2$$

198,13 kN

Teoriassa ruuvien kapasiteetti ylittyisi 198,13 kN:n kuormituksen jälkeen. Kuormitus on pistekuorma palkin keskelle, jolloin loveen vaikuttava leikkausvoima on puolet kuormasta eli 99,07 kN.

Esimerkistä 6 käy ilmi että ruuvivahvistuksen kestävyys on jopa 198,13 kN. Esimerkissä 7 esitetty loveamattoman palkin leikkaus- ja taivutuskestävyys, joihin ruuvivahvistuksen kestävyyttä verrataan.

ESIMERKKI 7. Loveamattoman liimapuupalkin leikkaus- ja taivutuskestävyys (Karhu Kuitunen 2016)

Loveamaton palkki**Taivutuskestävyys**

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

Momentti

$$M = W * \sigma$$

$$M = \frac{bh^2}{6} * f_{m,d}$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$M = 75,4515 \text{ kNm}$$

$$P_d = \frac{M * 4}{L} = 120,72 \text{ kN}$$

$$V_d = \frac{P_d}{2} = 60,361 \text{ kN}$$

Leikkauskestävyys

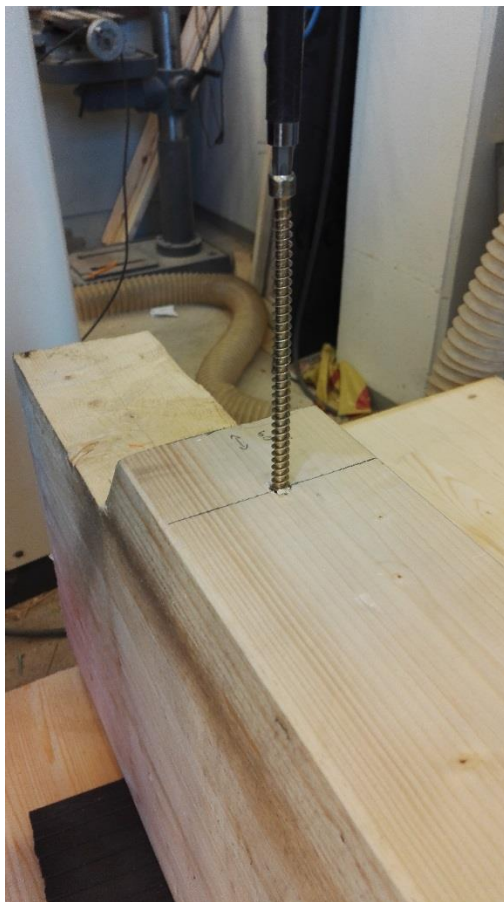
$$f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

$$V_d = \frac{f_{v,k} * b * h}{1,5} = 99,36 \text{ kN}$$

Kuten esimerkistä 7 käy ilmi, ei lovetun palkin ruuvivahvistus voi ylittää loveamattoman palkin taivutusmurtoon tai leikkausmurtoon vaadittavaa kuormitusta P_d . Pienin voima, jolla loveamaton palkki rikkoutuu, on laskennallisesti $V_d = 99,36 \text{ kN}$. Tämä vastaa loveamattoman palkin leikkauskestävyyden maksimiarvoa.

4.2.2 Liimapuu ruuvivahvistus testaus ja tulokset

Liimapuupalkkiin tehtiin vastaavanlainen lovi, kuin aikaisempaan liimapuupalkkiin. Loven sahaamisen jälkeen palkin pohjaan, 60 mm:n päähän lovesta asennettiin ruuvi. Palkin testaus tapahtui hydraulisella kuormituskoneella, jolla palkkia painettiin tietyllä nopeudella riippuen palkin maksimitaipumasta. Palkkia kuormitettiin niin pitkään, että lovi murtui. Palkin kokeen aikainen kosteusprosentti oli 11,5%.



KUVA 24. Liimapuupalkkiin asennettu ruuvi (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa 24 on esitetty liimapuupalkkiin asennettu ruuvi. Ruuvina käytettiin Assy Plus VG – ruuvia. Ruuvien koko oli 8 mm x 160 mm, ja se asennettiin 60 mm:n päähän loven reunasta kohtisuoraan syysuuntaa vastaan.



KUVA 25. Lovetun ruuvivahvistetun palkin halkeaminen (Karhu & Kuitunen 2016)



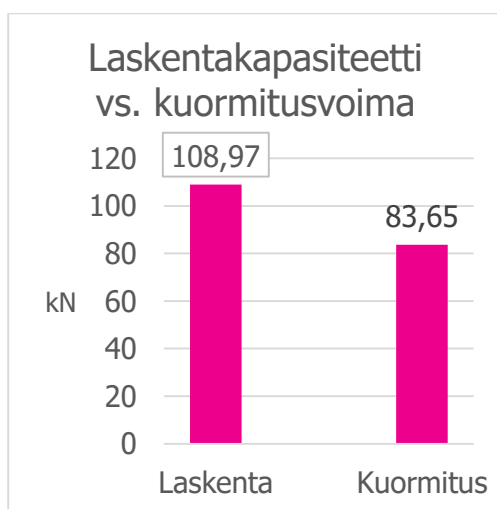
KUVA 26. Lovetun ruuvivahvistetun palkin halkeaminen (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvissa 25 ja 26 näkyy palkin halkeaminen loven reunasta. Verrattuna ruuvivahvistamattomaan palkkiin (kuva 22), loven halkeaman suuruus on pieni. Ruuvi on siis saanut pidettyä halkeman pienenä josta voidaan päätellä, että kuorma siirtyy ruuville loven halkeamisen jälkeen. Palkin kuormituskestävyys ylittyi, kun kuormaa oli 167,3 kN ja palkki murtui.



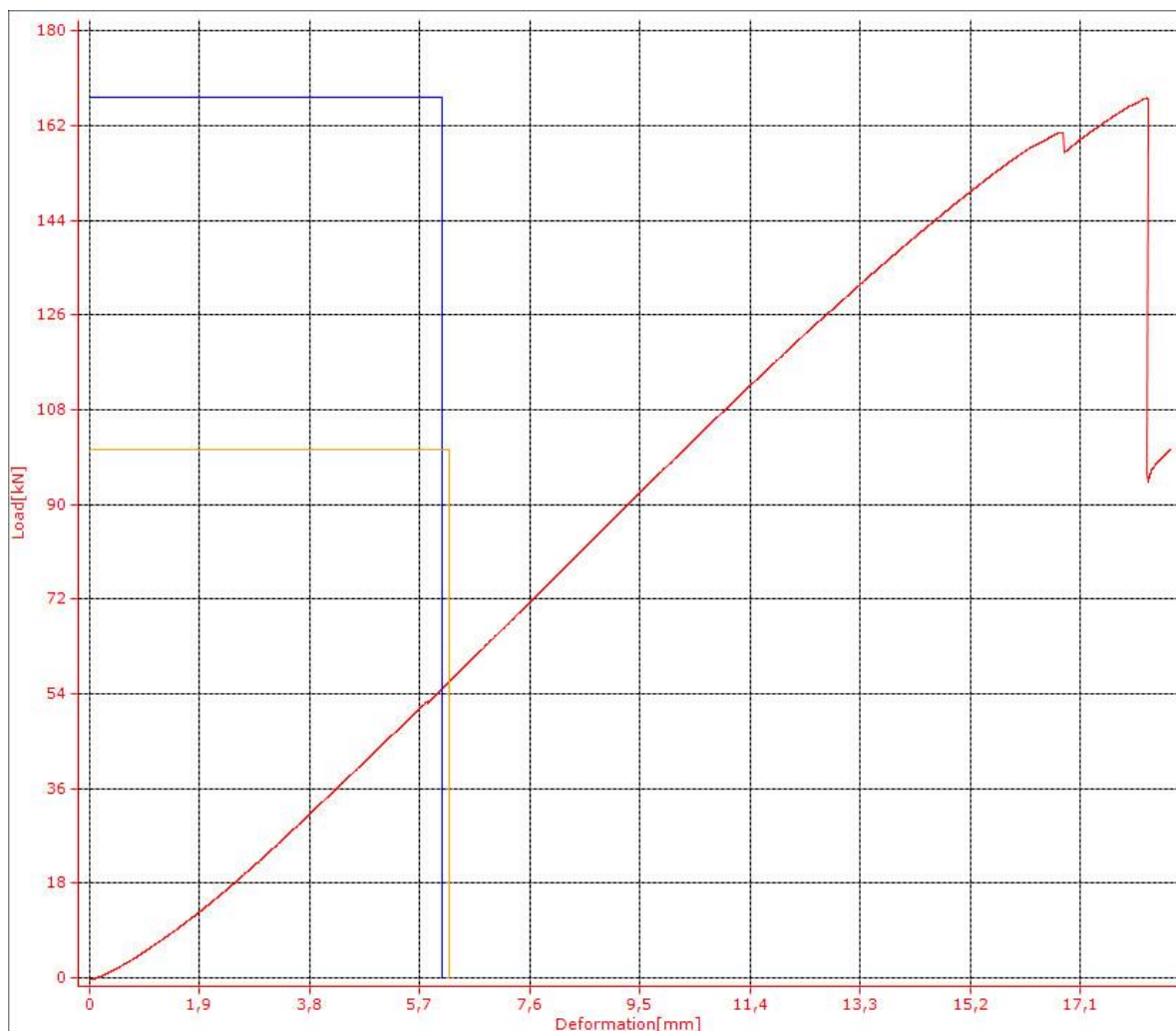
KUVA 27. Poikkileikkaus ruuvien kohdalta (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvasta 25 näkyy, ettei ruuvien ulosvetokestävyys ole ylittynyt ja ruuvi on edelleen kiinni puussa. Ruuvissa ei myöskään näy muodonmuutoksia. Puun murtuma näkyy loven kohdalla.



KUVIO 6. Ruuvivahvistetun liimapuupalkin tulosten vertailu (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuviosta 6 käy ilmi laskennallisen tuloksen ja kuormituskokeen välinen ero. Palkki murtui ennen kuin loven kestävyys laskennallinen arvo oli saavutettu. Liitoksen kuormituskestävyys jäi 25,32 kN (23 %) alle laskennallisen kestävyys jolloin liitos oli epävarmalla puolella.

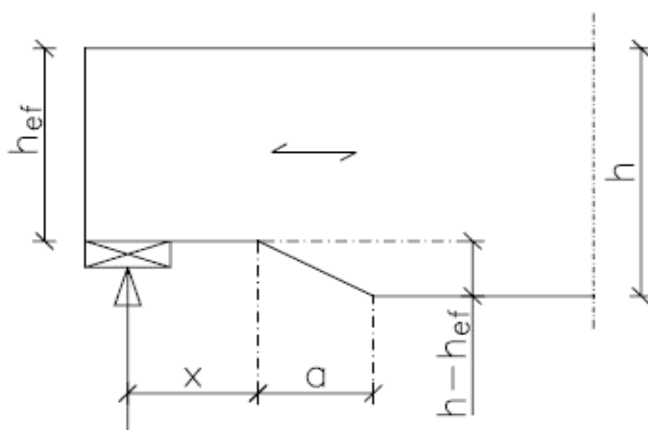


KUVA 28. Murtokäyrä (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa 28 on nähtävissä ruuvivahvistetun liimapuupalkin murtokäyrä. Kun kuormitus ylitti 167,3 kN, palkin kuormitus putosi noin 100 kN:n suuruiseksi. Tässä vaiheessa kuorma siirtyi puulta ruuville, koska puun kapasiteetti ylittyi ja puu murtui. Kuormituksen saavutettua 167,3 kN taipuma palkin keskellä oli 18,3 mm.

5 KERTO-S-PALKIN LOVIVAIKUTUS JA LOVEN RUUVIVAHVISTUS

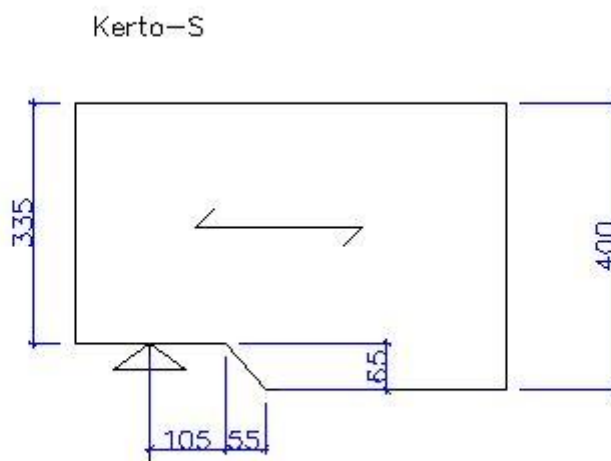
Kertopuu valmistetaan liimaamalla havupuuviiluja yhteen. Kertopuu on mittatarkka ja jäykkä, ja sen vuoksi hyvä ratkaisu rakenteisiin, jotka vaativat suurta lujuutta. Kertopuu sopii myös kohteisiin, joissa kestävyys ja keveys ovat tärkeitä (MetsäWood). Kerto-palkkeja käytetään esimerkiksi alapohjissa ja välipohjissa, sekä aukkojen ylityspalkkeina ja kattopalkkeina (Kerto-käsikirja, Lattia ja kattopalkit, tammikuu 2014). Kuten liimapuussa, myös kertopuussa lujuus lasketaan poikkileikkauksen pinta-alan kautta. Näin ollen lujuuden muutos tapahtuu samalla tavalla kuin liimapuussa, kun palkkia lovetaan. Leikkausjännitykset lasketaan tällöin käyttämällä tehollista, pienennettyä korkeutta h_{ef} (RIL 205-1-2009 s.85/ kuva 6.14). Kun tuelta lovettua palkkia kuormitetaan, pyrkii palkki halkeamaan pituussuunnassa loven reunan kohdalta. Ruuvivahvistuksella on tarkoitus estää halkeaman eteneminen puussa. Tämä tapahtui käytännössä ruuvaamalla ruuvi palkin pohjaan 60 mm:n päähän loven reunasta. Ruuvina käytettiin Assy Plus VG – ruuvia. Ruuvien koko oli 8 mm * 160 mm. Kuvassa on esitetty loven mitoituksessa suunnitellut mitat. Esimerkeistä pois jätetyt kuormien laskut löytyvät liitteestä 2.



KUVA 29. Loven suunnittelun ohje (Karhu & Kuitunen 2016)

5.1 Kerto-S ilman ruuvia

Opinnäytetyön päätarkoituksena oli selvittää lovetun palkin lovivaikutuksen ero ruuvivahvistetulla ja vahvistamattomalla palkilla. Kerto-S -palkkiin sahattiin moottorisahalla 210 mm pitkä ja 65 mm korkea lovi, jonka viisten pituus oli 50 mm (Kuvat ja). Loven vaikutus Kerto-S -palkin laskennalliseen leikkauskestävyyteen on esitetty seuraavassa kohdassa 5.1.1.



KUVA 30. Kerto-S lovisuunnitelma (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa näkyy Kerto-S – palkkiin suunnitellun loven mitat. Tehollinen korkeus h_{ef} on 335 mm.



KUVA 31. Kerto-S sahattu lovi (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa on sahattu lovi Kerto-S palkissa. Sahaamisen jälkeen lovi käsiteltiin myös viilalla, jotta epätasaisuudet saatiin pois. Palkki on kuvassa ylösalaisin.

5.1.1 Kerto-S ilman ruuvia teorialaskut

Alla olevassa laskussa on esitetty kokeen teorialaskut

Taulkko- ja kaavaviittaukset puurakenteiden suunnitteluohjeeseen (RIL 205-1-2009).

ESIMERKKI 8. Kerto-S-palkin lovivaikutus (Karhu Kuitunen 2016)

Palkin vetopuolen lovi

Laboratoriokokeen lasku

1. Lähtötiedot

Rakennuspaikka Kuopio
 Rakenne: Suora palkki, jossa lovi tuella
 Seuraamusluokka: CC2

Normit:

Puurakenteet:

RIL 205-1-2009, RIL 205-2-2009, SFS EN 1995-1-1,
 SFS EN 1995-1-2, SFS 7027, DIN 1995-1-1/NA:2013-08

Kuormat:

RIL 201-1-2008, SFS EN 1990,
 SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3

Materiaali Kerto-S

b	=	51 mm	0,051 m
h	=	400 mm	0,4 m
ρ	=	5 kN/m ³	
L	=	2,5 m	

3. Materiaali

Liimapuupalkki GL30c

b	=	51 mm	
h	=	400 mm	
k_h	=	$\leq 1,1$	1,04

Aikaluokka: Hetkellinen

Käyttöluokka: 1 Laboratoriokokeessa havupuun kosteusprosentti <12%

k_{mod} = 1,1 taulukko 3.1

(RIL 205-1-2009)

Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

γ_M = 1 taulukko 2.10-FI

(RIL 205-1-2009)

leikkauskestävyyden ominaisarvo

$f_{v,m}$ = 4,1 N/mm² taulukot 3.3S,3.4S ja 3.5S

(RIL 205-1-2009)

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$f_{v,d}$ = $k_{mod}/\gamma_M \cdot f_{v,k}$ = 4,51 N/mm²

(2.17)

Laboratoriokokeen vuoksi mitoituksessa ei käytetä materiaalivarmuuskorrointi ($\gamma_M=1$)

4. Mitoitus

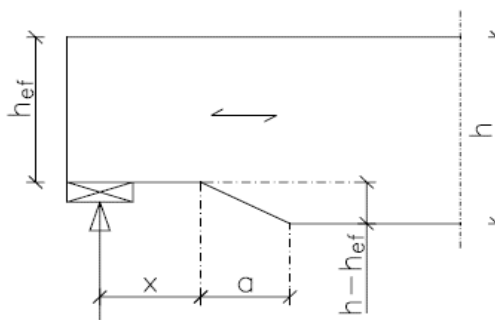
Kiepahdus estetty, ei huomioida kiepahdusriskin aiheuttamaa pienennyskerrointa

4.1 Loven mitoitus

(Taulukko- ja kaavaviittaukset ohjeeseen RIL 205-1-2009)

Kun palkin poikkileikkaus on suorakaide ja syyt ovat lähes sauvan pituusakselin suuntaiset, lasketaan leikkausjännitykset tuella olevan loven kohdalla käyttämällä tehollista (pienennettyä) korkeutta

h_{ef} (RIL 205-1-2009 s.85 kohta 6.5.2)



Seuraavan ehdon tulee täyttyä:

$$\tau = \frac{1,5 * V_d}{b_{ef} * h_{ef}} \leq k_v * f_{v,d} \quad (6.60)$$

,jossa

k_v on lovetun palkin pienennyskerroin

$$k_v = \frac{k_n * (1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h * (\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0 \quad (6.62)$$

,jossa

$$k_n = \begin{cases} 5,0 & \text{sahatavara} \\ 6,5 & \text{liimapuu} \\ 4,5 & \text{LVL yleensä} \\ 6,0 & \text{Kerto-S -LVL} \\ 16,0 & \text{Kerto-Q -LVL} \end{cases} \quad (6.62.)$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} \quad (6.62.)$$

$$i = \frac{a}{h - h_{ef}}$$

tarkistetaan käyttöluokan vaatimus palkin teholliseen leveyteen $b_{eff}=0,67*b$

b_{eff}	$k_{cr} * b =$	51	mm	tehollinen leveys
h	=	400	mm	korkeus
h_{ef}	=	335	mm	tehollinen korkeus
x	=	105	mm	tukireaktion etäisyys loven nurkasta
a	=	55	mm	loven pituus
$h - h_{ef}$	=	65	mm	loven korkeus
α	=	0,84		korkeuden suhde teholliseen korkeuteen
i	=	0,846154		loven kaltevuus
k_n	=	6		materiaalikerroin

$$k_v = \frac{k_n * (1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h * (\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0 \quad (6.62)$$

$$\begin{aligned} k_v &= 0,596112 && \text{materiaalikerroin} \\ \tau &= k_v * f_{v,d} = 2,69 && \text{N/mm}^2 \end{aligned} \quad (6.62)$$

Palkin maksimileikkauskestävyys

$$V_{d,lovettu} = \frac{\tau * b_{ef} * h_{ef}}{1,5} = \frac{2,69 * 51 * 355}{1,5}$$

30,62 kN

$$P_d = V_{d,lovettu} * 2$$

61,24 kN

Esimerkissä 8 on esitetty vahvistamattoman Kerto-S -palkin teorialasku loven vaikutuksesta palkin leikkaukestävytyteen. Koska kyseessä oli laboratoriokoe, tarkoituksena oli laskea kuorma P_d , jolla lovetun palkin leikkauskestävyyden 100 %:n kapasiteetti saadaan aikaiseksi. Esimerkissä 10 on vertailtu loveamattoman ja lovetun palkin eroja.

5.1.2 Kerto-S ilman ruuvia testaus ja tulokset

Palkin testaus tapahtui hydraulisella kuormituskoneella, jolla palkkia painettiin tietyllä nopeudella riippuen palkin maksimitaipumasta. Palkkia kuormitettiin niin pitkään, että lovi murtui. Palkin kokeen aikainen kosteusprosentti oli 9%.



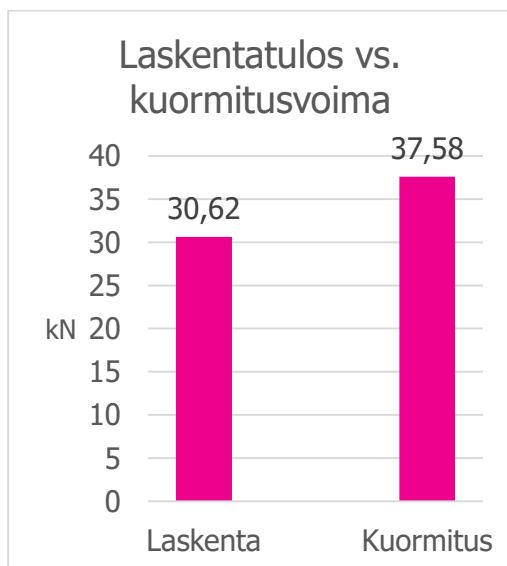
KUVA 32. Kerto-S-palkin asentaminen kuormituskehälle (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa näkyy Kerto-S-palkin asentaminen kuormituskehälle ja käytetyt kiepahdustuet, jotka estivät palkin kiepahduksen.



KUVA 33. Ruuvivahvistamattoman Kerto-S-palkin halkeama (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa näkyy Kerto-S-palkkiin muodostunut halkeama, joka odotuksien mukaan syntyi loven reunaan. Halkeama tapahtui kun pistekuorma palkin keskellä oli 75,15 kN, jolloin loveen vaikuttava leikkausvoima on puolet pistekuormasta eli noin 37,6 kN.



KUVIO 7. Ruuvivahvistamattoman Kerto-S-palkin tulosten vertailu (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuviosta 7 nähdään, että palkki kestävyys kuormituskokeessa oli 6,96 kN (23%) suurempi, kuin laskennallinen kestävyys.

5.2 Kerto-S ruuvivahvistus

Kerto-S -palkin ruuvivahvistus laskettiin käyttämällä Puuinfon Palkin vetopuolen lovi -esimerkkilaskua. Ruuvien kapasiteetti laskettiin ETA11/0190 standardissa esitettyjen kaavojen mukaan. Kaavaviittaukset ovat merkitty oikeaan laitaan.

5.2.1 Kerto-S ruuvivahvistus teorialaskut

Seuraavaksi on esitetty loven ruuvivahvistuksen teorialasku.

Kaavaviittaukset puurakenteiden suunnitteluohjeeseen (RIL-205-1-2009) ja Euroopan tekniseen hyväksyntään (ETA-11/0190).

ESIMERKKI 9. Kerto-S - palkin loven ruuvivahvistus (Karhu Kuitunen 2016)

4.2 Loven vahvistus ruuvilla

Loven vahvistaminen Assy Plus VG ruuvilla 8*160, joka porataan palkin alapuolelta keskelle palkkia:

ruuvien pituus	=	160 mm
ruuvien lukumäärä	=	1 kpl
d	=	8 mm

Vaatus:

$$L_{ed,2} \geq L_{ed,1} \rightarrow (160-65)\text{mm} \geq 50\text{mm} \rightarrow \text{OK !}$$

Lisäksi ruuvien etäisyys loven reunasta $a_{1,c} \geq 40\text{mm}$

Ruuvien etäisyys reunasta 60 mm

Lasketaan ruuville tuleva kuorma (DIN 1995-1-1/NA:2013-08 mukaan):

$$F_{t,90,d} = 1,3 * V_d * (3 * (1 - \alpha)^2 - 2 * (1 - \alpha)^3)$$

ETA 11/0190 kaava
(3.2)

Yllä olevassa kaavassa α on esimerkissä 8 esitetty palkin tehollisen korkeuden suhde koko palkin korkeuteen. V_d on mitoituskuormista aiheutuva leikkausvoima ks. liite 2

V_d	=	26,1 kN
α	=	0,84
$F_{t,90,d}$	=	2,40 kN

Lasketaan yhden ruuvien vetokapasiteetti (ETA-11/0190:n mukaan)

Vetolujuus kannan puolella

ruuvien lkm	=	1
$f_{tens,k}$	=	20 kN
α	=	90 °
$\rho_{m,1}$	=	510 kg/m ³
$k_{ax,1}$	=	1 $\alpha \geq 45^\circ$
ρ_a	=	350 kg/m ³
$f_{ax,k}$	=	10 N/mm ² (d=8mm)
d	=	8 mm

$$l_{g,1} = 65 \text{ mm}$$

$$F_{ax,90,1,k} = k_{ax,1} * f_{ax,k} * \left(\frac{\rho_{k,1}}{\rho_a}\right)^{0,8} = 13,515 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ETA} \quad (1.5)$$

$$f_{head,k} = 13 \text{ N/mm}^2 \quad (d_h=10\text{mm}\leq 19\text{mm})$$

$$d_h = 10 \text{ mm}$$

$$R_{T,1,k} = f_{ax,90,1,k} * d * l_{g1} + f_{head,k} * d_h^2 * \left(\frac{\rho_{m,1}}{\rho_a}\right)^{0,8} \quad \text{RIL} \quad (8.83S \text{ a})$$

$$= 8,8 \text{ kN}$$

ruuvien yhteenlaskettu kapasiteetti

$$= 8,8 \text{ kN}$$

,jossa

$$f_{tensk,k} = \text{Ruuvin vetomurtokestävyyden ominaisarvo} \\ (\text{Taulukko 7, Ruuviliitosten mitoitus, MetsäWood 2012})$$

$$\alpha = \text{ruuvauskulma}$$

$$\rho_{m,1} = \text{Materiaalin tiheyden keskiarvo}$$

$$k_{ax,1} = \text{Ruuvin ja syyn välisestä kulmasta johtuva kerroin (ETA11/0190)}$$

$$\rho_a = \text{Laskuissa käytetyn ruuvin ulosvetolujuusparametrin} \\ \text{mukainen vertailutiheys}$$

$$f_{ax,k} = \text{Ulosvetolujuuden ominaisarvo puuntiheydellä } \rho_a$$

$$d = \text{Ruuvin paksuus}$$

$$l_{g,1} = \text{Ruuvin tunkeuma kannan puoleisessa puussa}$$

$$F_{ax,90,1,k} = \text{Ruuvin läpivetokapasiteetin ominaisarvo kulmassa } \alpha \\ \text{syysuuntaan nähden} \\ (\text{RIL 205-1-2009, 8.7.2 Pituussuunnassa kuormitetut ruuvit, 8.40b})$$

$$f_{head,k} = \text{EN 14592 mukainen läpivetolujuuden arvo kohtisuorassa syytä vastaan} \\ (\text{ETA11/0190})$$

$$d_h = \text{Ruuvin kannan paksuus}$$

$$R_{T,1,k} = \text{Liittimien leikkauskestävyys tarkasteltavassa leikkeessä}$$

Vetolujuus kärjen puolella

$$\text{ruuvien lkm} = 1$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\rho_{m,2} = 510 \text{ kg/m}^3$$

$$k_{ax,2} = 1 \quad \alpha \geq 45 \text{ deg}$$

$$\rho_a = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{ax,k} = 10 \text{ N/mm}^2 \quad (d=8\text{mm})$$

$$d = 8 \text{ mm}$$

$$l_{g,2} = 95 \text{ mm}$$

$$F_{ax,90,2,k} = k_{ax,2} * f_{ax,k} * \left(\frac{\rho_{m,2}}{\rho_a}\right)^{0,8} = 13,515 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ETA} \quad (1.5)$$

$$R_{T,2,k} = f_{ax,90,1,k} * d * l_{g2} \quad \text{RIL} \quad (8.83S \text{ b})$$

$$= 10,3 \text{ kN}$$

ruuvien yhteenlaskettu kapasiteetti

$$= 10,3 \text{ kN}$$

,jossa

$$\alpha = \text{ruuvauskulma}$$

$$\rho_{m,2} = \text{Materiaalin tiheyden keskiarvo}$$

$$k_{ax,2} = \text{Ruuvin ja syyn välisestä kulmasta johtuva kerroin (ETA11/0190)}$$

$$\rho_a = \text{Laskuissa käytetyn ruuvin ulosvetolujuusparametrin mukainen vertailutiheys}$$

$$f_{ax,k} = \text{Ulosvetolujuuden ominaisarvo puuntiheydellä } \rho_a$$

$$d = \text{Ruuvin paksuus}$$

$$l_{g,2} = \text{Ruuvin tunkeuma kärjen puoleisessa puussa}$$

$$F_{ax,90,2,k} = \text{Ruuvin läpivetokapasiteetin ominaisarvo kulmassa } \alpha \text{ syysuuntaan nähden (RIL 205-1-2009, 8.7.2 Pituussuunnassa kuormitetut ruuvit, 8.40b)}$$

$$R_{T,2,k} = \text{Liittimien leikkauskestävyys tarkasteltavassa leikkeessä}$$

Vetoruuvien ominaiskapasiteetti

$$R_{T,k} = \min(R_{T,1,k}; R_{T,2,k}; f_{tens,k}) \quad \text{RIL} \quad (8.83S)$$

$$8,8 \text{ kN}$$

Vetoruuviliitoksen mitoituskapasiteetti

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \quad 8,8 \text{ kN}$$

$$k_{mod} = 1,1 \quad \text{Kuorman aikaluokasta johtuva kerroin}$$

$$\gamma_M = 1 \quad \text{Materiaalin osavarmuusluku}$$

Alla on laskettu ruuvien kestävyys R_d avulla laboratoriokokeessa vaadittava kuormitusvoima P_d ja ruuvien maksimikestävyys $V_{d,ruuvien maksimikestävyys}$

$$V_{d,ruuvien maksimikestävyys} = \frac{R_d}{1,3 * (3 * (1 - \alpha)^2 - 2 * (1 - \alpha)^3)}$$

$$V_{d,maksimi-kestävyys} = 105,23 \text{ kN} \quad \text{ruuvien maksimileikkauskestävyys}$$

$$P_d = V_d * 2$$

$$210,46 \text{ kN}$$

Teoriassa ruuvien kapasiteetti ylittyisi 210,46 kN:n kuormituksen jälkeen, jolloin loveen vaikuttava leikkausvoima on puolet palkin keskellä vaikuttavasta pistekuormasta, eli 105,23 kN.

ESIMERKKI 10. Lovetun ja loveamattoman palkin ero (Karhu & Kuitunen 2016)

Loveamaton palkki**Taivutuskestävyys**

$$f_{m,k} = 44 \text{ N/mm}^2$$

Momentti

$$M = W * \sigma$$

$$M = \frac{bh^2}{6} * f_{m,d}$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = 44 \text{ N/mm}^2$$

$$M = 59,84 \text{ kNm}$$

$$P_d = \frac{M * 4}{L} = 95,744 \text{ kN}$$

$$V_d = \frac{P_d}{2} = 47,872 \text{ kN}$$

Leikkauskestävyys

$$f_{v,k} = 4,1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} * b * h}{1,5}$$

$$V_d = 55,76 \text{ kN}$$

Lovetun ruuvivahvistamattoman palkin suhde loveamattomaan palkkiin

$$\frac{V_{d,lovettu}}{V_d} = \frac{30,62 \text{ kN}}{61,34 \text{ kN}} * 100 = 50 \%$$

Lovi heikentää palkin leikkauskestävyyttä**50 %**

Kuten esimerkistä 10 käy ilmi, ei lovetun palkin ruuvivahvistus voi ylittää loveamattoman palkin taivutusmurtoon tai leikkausmurtoon vaadittavaa kuormitusta P_d . Pienin voima, jolla loveamaton palkki rikkoutuu, on laskennallisesti $V_d = 95,744 \text{ kN}$. Tämä vastaa loveamattoman palkin leikkauskestävyyden maksimiarvoa. Loveamattoman ja lovetun palkin ero voidaan tutkia tarkemmin testaamalla loveamaton palkki.

5.2.2 Kerto-S ruuvivahvistus testaus ja tulokset

Kerto-S - palkkiin tehtiin vastaavanlainen lovi, kuin kohdassa 5.2.1 olevaan Kerto-S - palkkiin. Loven sahaamisen jälkeen palkin pohjaan, 60 mm:n päähän lovesta asennettiin ruuvi. Palkin testaus tapahtui hydraulisella kuormituskoneella, jolla palkkia painettiin tietyllä nopeudella riippuen palkin maksimitaipumasta. Palkkia kuormitettiin niin pitkään, että lovi murtui. Ruuvina käytettiin Assy Plus VG –

ruuvia. Ruuvien koko oli 8 x 160 mm, ja se asennettiin 60 mm:n päähän loven reunasta kohtisuoraan syysuuntaa vastaan. Palkin kokeen aikainen kosteusprosentti oli 8,5%.



KUVA 34. Kerto-S-palkin asennus kuormituskehälle (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa 34 on esitetty palkin asentaminen kuormituskehälle. Kuvassa näkyvät myös nurjahdustuet, jotka estävät palkin nurjahtamisen ja kiepahtamisen.



KUVA 35. Kerto-S-palkin murtuminen (Karhu & Kuitunen 2016)



KUVA 36. Kerto-S-palkin murtuminen (Karhu & Kuitunen 2016)

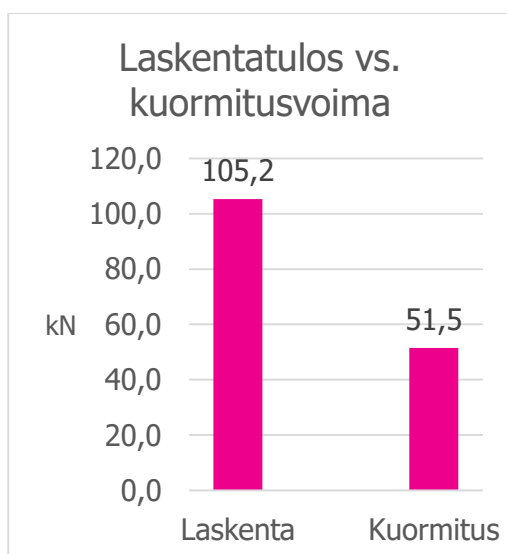


KUVA 37. Kerto-S-palkin murtuminen (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvissa 35,36 ja 37 on näkyvissä ruuvivahvistetun Kerto-S-palkin murtuminen. Kuvissa 36 ja 37 näkyy palkin kylkeen merkattu viiva, joka kertoo ruuvien sijainnin. Kuten liimapuussa, myös Kerto-S-palkissa ruuvi on pitänyt halkeaman pienenä verrattuna ruuvivahvistamattomaan palkkiin (Kuva 33). Palkin kuormituskestävyys ylittyi, kun pistekuorma oli 102,95 kN. Kuvassa 38 on näkyvissä ruuvien muodonmuutos lovessa. Tästä kuvasta voidaan päätellä että palkin taipumisen johdosta muodostuu loveen myös pituussuuntaisia jännityksiä.



KUVA 38. Kerto-S-palkin leikkaus (Karhu & Kuitunen 2016)



KUVIO 8. Ruuvivahvistetun Kerto-S-palkin tulosten vertailu (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuviosta 8 käy ilmi laskennallisen tuloksen ja kuormituskokeen välinen ero. Palkki murtui ennen kuin loven laskennallinen kestävyys oli saavutettu. Kuormituskestävyys jäi 53,7 kN (51 %) alle laskennallisen kestävyysjoten liitos on epävarmalla puolella.

6 DIGIPUUSEMINAARIIN TEHDYT LOVIPALKIT

Digipuuseminaari järjestettiin Savonia-ammattikorkeakoululla 29.3.2016 ja siellä käsiteltiin puuelementtien ja –rakenteiden sekä –moduulien suunnittelua. Seminaarin päätteeksi oli tutustuminen puulaboratorioon ja siellä esiteltiin lovetun CLT-palkin kuormituskoe. Lovettua CLT-palkkia verrattiin samanlaisella lovella varustettuun liimapuupalkkiin, josta tehtiin teorialaskut ja kuormituskokeet ja tulosten vertailu.

6.1 Lovettu CLT (Cross Laminated Timber) -palkki

CLT-palkki on ristiin liimatuista puulamelleista koostuva palkki, jonka lamellien paksuus ja määrä voi vaihdella käyttötarkoituksen ja tilaajan tarpeiden mukaan.

Lovettu CLT-palkki tehtiin Olament Oy:lta haetusta CLT-levystä. Levy oli alun perin sahattu CLT-elementistä ikkunan kohdalta. Levystä sahattiin palkki, joka oli mitoiltaan 2200 x 100 x 400 mm. CLT-palkki koostui viidestä 20 mm:n lamellista, joista reunimmaisten ja keskimmäisen lamellin syysuunta oli pystyssä. Tämä mahdollisti keskimmäisen lamellin toimimisen ruuvivahvistuksen tapaisesti.



KUVA 39. CLT-palkin lovi (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa 39 näkyy CLT-palkkiin sahattu lovi, joka oli korkeudeltaan 150 mm ja pituudeltaan 210 mm. Lovi ei tässä vaiheessa ollut vielä valmis, mutta se viilattiin ja hiottiin kauttaaltaan tasaiseksi.

6.1.1 CLT-palkin lovikestävyys teorialaskut

Alla olevassa esimerkissä on esitelty CLT-palkin laskut. Laskuissa käytetyt lujuusarvot ovat CrossLam Oy:n tarjoamia lamellin lujuusarvoja. Kuormien laskut liitteessä 3.

ESIMERKKI 11. CLT-palkin teorialaskut (Karhu & Kuitunen 2016)

Palkin vetopuolen lovi**Laboratoriokokeen lasku****1. Lähtötiedot**

Rakennuspaikka Kuopio

Rakenne: Suora palkki, jossa lovi tuella

Seuraamusluokka: CC2

Normit:**Puurakenteet :**

RIL 205-1-2009, RIL 205-2-2009, SFS EN 1995-1-1,
SFS EN 1995-1-2, SFS 7027, DIN 1995-1-1/NA:2013-08

Kuormat:

RIL 201-1-2008, SFS EN 1990,
SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3

Materiaali

CLT

b	=	100 mm	0,1 m
h	=	400 mm	0,4 m
ρ	=	5 kN/m ³	
L	=	2 m	

3. Materiaali

Liimapuupalkki GL30c

b	=	100 mm	
h	=	400 mm	
k_h	=	$\leq 1,1$	1,04

Aikaluokka: Hetkellinen

Käyttöluokka: 1 Laboratoriokokeessa havupuun
kosteusprosentti <12%

k_{mod} = 1,1 Taulukko 3.1

(RIL 205-1-2009)

Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

γ_M = 1 Taulukko 2.10-FI
leikkauskestävyyden ominaisarvo

(RIL 205-1-2009)

$f_{v,k}$ = 3,2 N/mm² Taulukot 3.3S,3.4S ja 3.5S
Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

(RIL 205-1-2009)

$f_{v,d}$ = $k_{mod}/\gamma_M \cdot f_{v,k}$ = 3,52 N/mm²

(2.17)

Laboratoriokokeen vuoksi mitoituksessa ei käytetä varmuuskertoimia

4. Mitoitus

Kiepahdus estetty, ei huomioida kiepahdusriskin aiheuttamaa pienennyskerrointa

4.1 Loven mitoitus

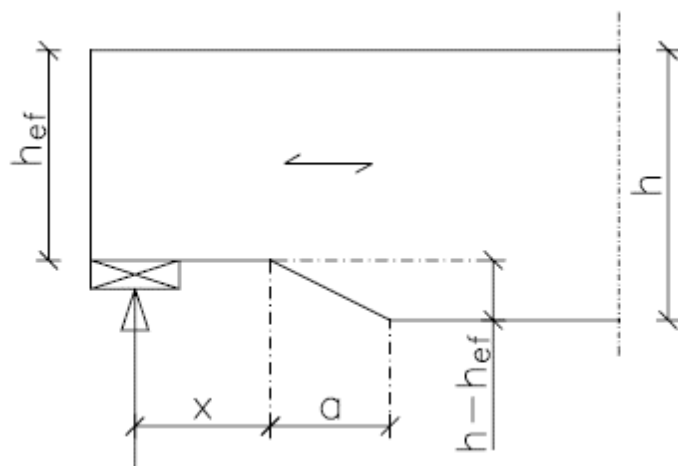
(Taulukko- ja kaavaviittaukset ohjeeseen RIL 205-1-2009)

Kun palkin poikkileikkaus on suorakaide ja syyt ovat lähes sauvan pituusakselin suuntaiset,

lasketaan leikkausjännitykset tuella olevan loven kohdalla

käyttämällä tehollista (pienennettyä) korkeutta

h_{ef} (RIL 205-1-2009 s.85 kohta 6.5.2)



Seuraavan ehdon tulee täyttyä:

$$\tau = \frac{1,5 * V_d}{b_{ef} * h_{ef}} \leq k_v * f_{v,d} \quad (6.60)$$

,jossa

k_v on lovetun palkin pienennyskerroin

$$k_v = \frac{k_n * (1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h * (\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0 \quad (6.62)$$

,jossa

$$k_n = \begin{cases} 5,0 & \text{sahatavara} \\ 6,5 & \text{liimapuu} \\ 4,5 & \text{LVL yleensä} \\ 6,0 & \text{Kerto-S -LVL} \\ 16,0 & \text{Kerto-Q -LVL} \end{cases} \quad (6.62.2S)$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} \quad (6.62.1S)$$

$$i = \frac{a}{h - h_{ef}}$$

tarkistetaan käyttöluokan vaatimus palkin teholliseen leveyteen $b_{eff}=0,67*b$

b_{eff}	$k_{cr}*b=$	67 mm	tehollinen leveys
h	$=$	400 mm	korkeus
h_{ef}	$=$	250 mm	tehollinen korkeus
x	$=$	105 mm	tukireaktion etäisyys loven nurkasta millimetreinä
a	$=$	0 mm	loven pituus
$h-h_{ef}$	$=$	150 mm	loven korkeus
α	$=$	0,63	korkeuden suhde teholliseen korkeuteen
i	$=$	0	loven kaltevuus
k_n	$=$	5	

$$k_v = \frac{6,5 * (1 + \frac{1,1 * 0,846154^{1,5}}{\sqrt{405}})}{\sqrt{405 * (\sqrt{0,88 * (1 - 0,88)} + 0,8 * \frac{105}{405} \sqrt{\frac{1}{0,88} - 0,88^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0$$

(6.62)

k_v	$=$	0,516398	materiaalikerroin	(6.62.2S)
τ	$=$	$k_v * f_{v,d}$	$=$	1,65

Palkin maksimileikkausvoimakkestävyys

$$V_{d,lovettu} = \frac{\tau * b_{ef} * h_{ef}}{1,5} = \frac{1,65 * 67 * 250}{1,5}$$

$$= 20,30 \text{ kN}$$

$$P_d = V_{d,lovettu} * 2$$

$$40,60 \text{ kN}$$

ESIMERKKI 12. Lovetun ja loveamattoman CLT-palkin eroja (Karhu & Kuitunen 2016)

**Loveamaton
palkki****Taivutuskestävyys**

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

Momentti

$$M = W * \sigma$$

$$M = \frac{bh^2}{6} * f_{m,d}$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$M = 64 \text{ kNm}$$

$$P_d = \frac{M * 4}{L} = 128 \text{ kN}$$

$$V_d = \frac{P_d}{2} = 64 \text{ kN}$$

**Leikkauskestä-
vyys**

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

$$V_d = \frac{f_{v,k} * b * h}{1,5} = 85,3 \text{ kN}$$

Lovetun ruuvivahvistamattoman palkin suhde loveamattomaan palkkiin

$$\frac{V_{d,lovettu}}{V_d} = \frac{18,45 \text{ kN}}{85,33} * 100 = 22 \%$$

Lovi heikentää palkin leikkauskestävyyttä

78 %

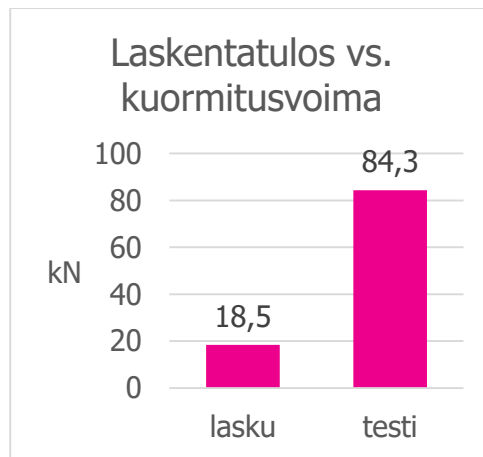
6.1.2 CLT-palkin testaus ja tulokset

CLT-palkkiin tehtiin lovi, jonka korkeus palkin pohjasta oli 150 mm ja pituus palkin päästä 210 mm. Palkin testaus tapahtui hydraulisella kuormituskoneella, jolla palkkia painettiin tietyllä nopeudella palkin maksimitaipuman mukaan. Palkkia kuormitettiin niin pitkään, että lovi murtui. Palkin keenaikainen kosteusprosentti oli 10%.



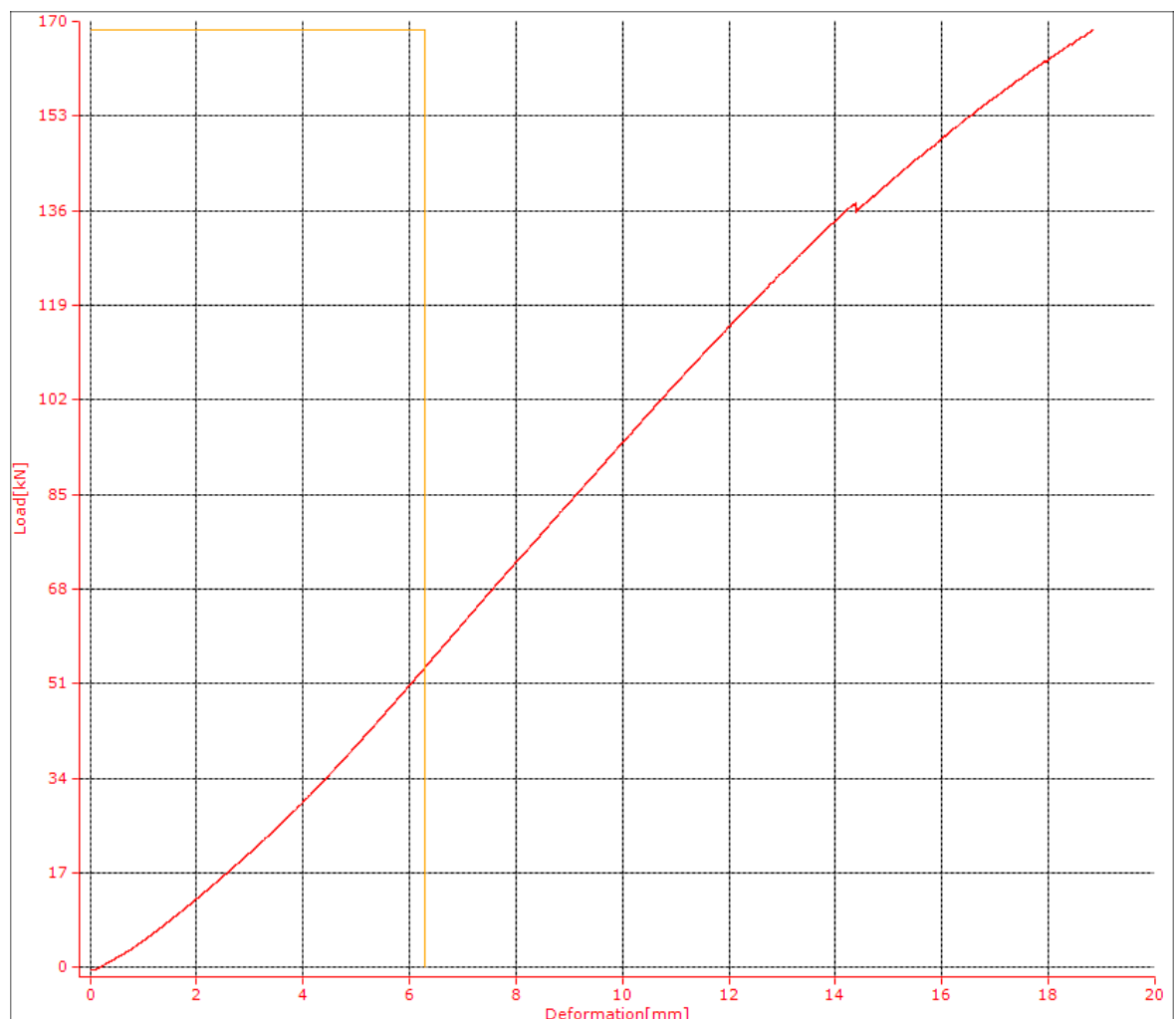
KUVA 40. CLT-palkin murtotapahtuma (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvasta 40 nähdään, että palkin teorialaskuista saadusta kapasiteetistä huolimatta palkin lovi ei lähtenyt halkeamaan, kuten aiemmissa testeissä. Pistekuorman seurauksena palkki murtui jännevälin keskeltä taivutusmomentin aiheuttamista taivutusjännityksistä palkin alapinnasta.



KUVIO 9. CLT-palkin 150 mm loven tulosten vertailu (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuviosta 9 käy ilmi CLT-palkin laskennallisen ja kuormituskokeen kestävyyksien erot. Teorialaskusta poiketen palkki kesti 65,8 kN (356%) enemmän voimaa laskennalliseen tuloksen verrattuna ennen palkin murtoa.



KUVA 41. CLT-palkin murtokäyrä (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvasta 41. näkee, että palkki kesti 168,6 kN:n voiman ennen taivutusmurtoa. Palkin taipuma jännälin keskellä oli murtohetkellä 18,9 mm.

6.2 Lovettu liimapuupalkki

CLT-palkkia verrattiin samanlaisella lovella varustettuun liimapuupalkkiin, joka oli lovea lukuunottamatta täysin samanlainen kuin kohdissa 3 ja 4 esiintyvä liimapuupalkki. Palkin ainoa ero CLT-palkkiin oli sen pituus. Liimapuupalkki oli 3 m pitkä, kun CLT-palkki oli vain 2,2 m pitkä. Tämä on kuitenkin huomioitu laskuissa, joten sillä ei ole vaikutusta tuloksiin.



KUVA 42. Lovettu liimapuupalkki valmiina kuormitusta varten (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvassa näkyy CLT-palkin vertailua varten tehty liimapuupalkki. Molemmissa palkeissa oli samankoiset lovet.

6.2.1 Lovetun liimapuupalkin teorialaskut

Alla on esitetty CLT-palkin vertailua varten tehdyn lovetun liimapuupalkin teorialaskut. Kuormien laskut liitteessä 4.

ESIMERKKI 13. Lovetun liimapuupalkin leikkauskestävyys (Karhu & Kuitunen 2016)

Palkin vetopuolen lovi

Laboratoriokokeen lasku

1. Lähtötiedot

Rakennuspaikka

Kuopio

Rakenne:

Suora palkki, jossa lovi tuella

Seuraamusluokka:

CC2

Normit:

Puurakenteet :

RIL 205-1-2009, RIL 205-2-2009, SFS EN 1995-1-1,

SFS EN 1995-1-2, SFS 7027, DIN 1995-1-1/NA:2013-08

Kuormat:

RIL 201-1-2008, SFS EN 1990,

SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3

Materiaali		GL32c	
b	=	115 mm	0,115 m
h	=	405 mm	0,405 m
ρ	=	5 kN/m ³	
L	=	2,5 m	

3. Materiaali

Liimapuupalkki GL30c

b	=	115 mm	
h	=	405 mm	
k_h	=	$\leq 1,1$	1,04

Aikaluokka: Hetkellinen

Käyttöluokka: 1 Laboratoriokokeessa havupuun
kosteusprosentti <12%

k_{mod}	=	1,1	taulukko 3.1
-----------	---	-----	--------------

(RIL 205-1-
2009)

Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

γ_M	=	1	taulukko 2.10-FI
------------	---	---	------------------

(RIL 205-1-
2009)

leikkauskestävyyden ominaisarvo

$f_{v,k}$	=	3,2 N/mm ²	taulukot 3.3S,3.4S ja 3.5S
-----------	---	-----------------------	----------------------------

(RIL 205-1-
2009)

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$f_{v,d}$	=	$k_{mod}/\gamma_M \cdot f_{v,k}$	= 3,20 N/mm ²
-----------	---	----------------------------------	--------------------------

(2.17)

Laboratoriokokeen vuoksi mitoituksessa ei käytetä varmuuskertoimia

4. Mitoitus

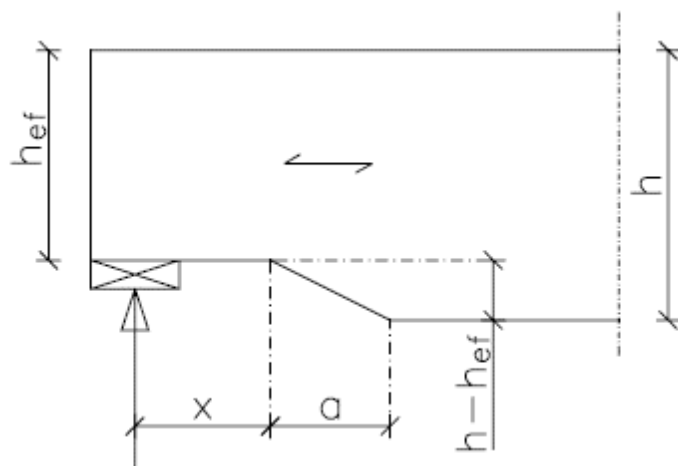
Kiepahdus estetty, ei huomioida kiepahdusriskin aiheuttamaa pienennyskerrointa

4.1 Loven mitoitus

(Taulukko- ja kaavaviittaukset ohjeeseen RIL 205-1-2009)

Kun palkin poikkileikkaus on suorakaide ja syyt ovat lähes sauvan pituusakselin suuntaiset, lasketaan leikkausjännitykset tuella olevan loven kohdalla käyttämällä tehollista (pienennettyä) korkeutta

h_{ef} (RIL 205-1-2009 s.85 kohta 6.5.2)



Seuraavan ehdon tulee täytyä:

$$\tau = \frac{1,5 * V_d}{b_{ef} * h_{ef}} \leq k_v * f_{v,d} \quad (6.60)$$

,jossa

k_v on lovetun palkin pienennyskerroin

$$k_v = \frac{k_n * (1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h * (\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0 \quad (6.62)$$

,jossa

$$k_n = \begin{cases} 5,0 & \text{sahatavara} \\ 6,5 & \text{liimapuu} \\ 4,5 & \text{LVL yleensä} \\ 6,0 & \text{Kerto-S -LVL} \\ 16,0 & \text{Kerto-Q -LVL} \end{cases} \quad (6.62.2S)$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} \quad (6.62.1S)$$

$$i = \frac{a}{h - h_{ef}}$$

tarkistetaan käyttöluokan vaatimus palkin teholliseen leveyteen $b_{eff}=0,67*b$

koska kyseessä on liimapuu ja käyttöluokka 1, tarvitsee tehollinen leveys ottaa huomioon:

b_{eff}	$k_{cr} * b =$	77,05 mm	tehollinen leveys
h	$=$	405 mm	korkeus
h_{ef}	$=$	255 mm	tehollinen korkeus
x	$=$	105 mm	tukireaktion etäisyys loven nurkasta millimetreinä
a	$=$	0 mm	loven pituus
$h-h_{ef}$	$=$	150 mm	loven korkeus
α	$=$	0,63	korkeuden suhde teholliseen korkeuteen
i	$=$	0	loven kaltevuus
k_n	$=$	6,5	

$$k_v = \frac{6,5 * (1 + \frac{1,1 * 0,846154^{1,5}}{\sqrt{405}})}{\sqrt{405 * (\sqrt{0,88 * (1 - 0,88)} + 0,8 * \frac{105}{405} \sqrt{\frac{1}{0,88} - 0,88^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0 \quad (6.62)$$

$$k_v = 0,668844 \quad \text{materiaalikerroin} \quad (6.62.2S)$$

$$\tau = f_{v,d} * k_v = 2,14$$

Palkin maksimileikkauskestävyys

$$V_{d,lovettu} = \frac{\tau * b_{ef} * h_{ef}}{1,5} = \frac{2,14 * 77,05 * 255}{1,5}$$

28,03 kN

$$P_d = V_{d,lovettu} * 2$$

56,07 kN

ESIMERKKI 14. Lovetun ja loveamattoman liimapuupalkin eroja (Karhu & Kuitunen 2016)

Loveamaton palkki**Taivutuskestävyys**

$$f_{m,k} = 32 \text{ N/mm}^2$$

Momentti

$$M = W * \sigma$$

$$M = \frac{bh^2}{6} * f_{m,d}$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = 32 \text{ N/mm}^2$$

$$M = 100,602 \text{ kNm}$$

$$P_d = \frac{M * 4}{L} = 160,96 \text{ kN}$$

$$V_d = \frac{P_d}{2} = 80,48 \text{ kN}$$

Leikkauskestävyys

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

$$V_d = \frac{f_{v,k} * b * h}{1,5}$$

$$= 99,36 \text{ kN}$$

Lovetun ruuvivahvistamattoman palkin suhde loveamattomaan palkkiin

$$\frac{V_{d,lovettu}}{V_d} = \frac{28,03 \text{ kN}}{99,36 \text{ kN}} * 100 = 28 \%$$

Lovi heikentää palkin leikkauskestävyyttä

$$72 \%$$

6.2.2 Lovetun liimapuupalkin testaus ja tulokset

Liimapuupalkkiin sahattiin samanlainen 150 x 210 mm lovi, kuin vertailun kohteena olevaan CLT-palkkiin. Sen jälkeen palkki asennettiin kuormituskehälle ja palkkia kuormitettiin hydraulisella kuormituskoneella palkin murtoon saakka. Kuormitusnopeus laskettiin palkin maksimaalisen taipuman perusteella siten, että kuormituskokeen aika olisi noin 5 minuuttia. Tämä arvio oli kuitenkin suuntaa antava, sillä taipumalaskuissa kaavat antavat palkin taipumalle liian pienen arvon. Taipumalaskua ei ole esitetty laskuissa.

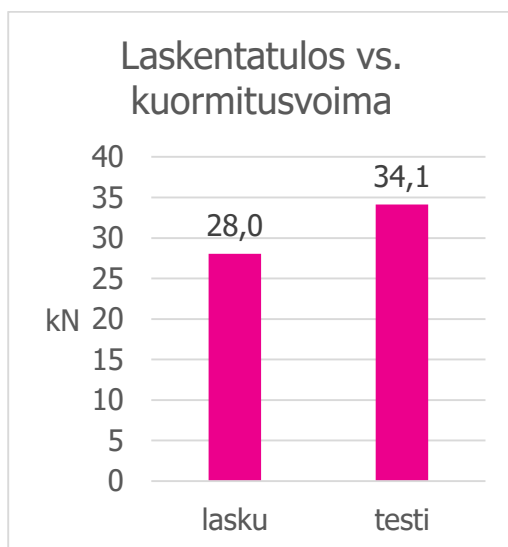


KUVA 43. Lovetun liimapuupalkin murtotapahtuma (Karhu & Kuitunen 2016)



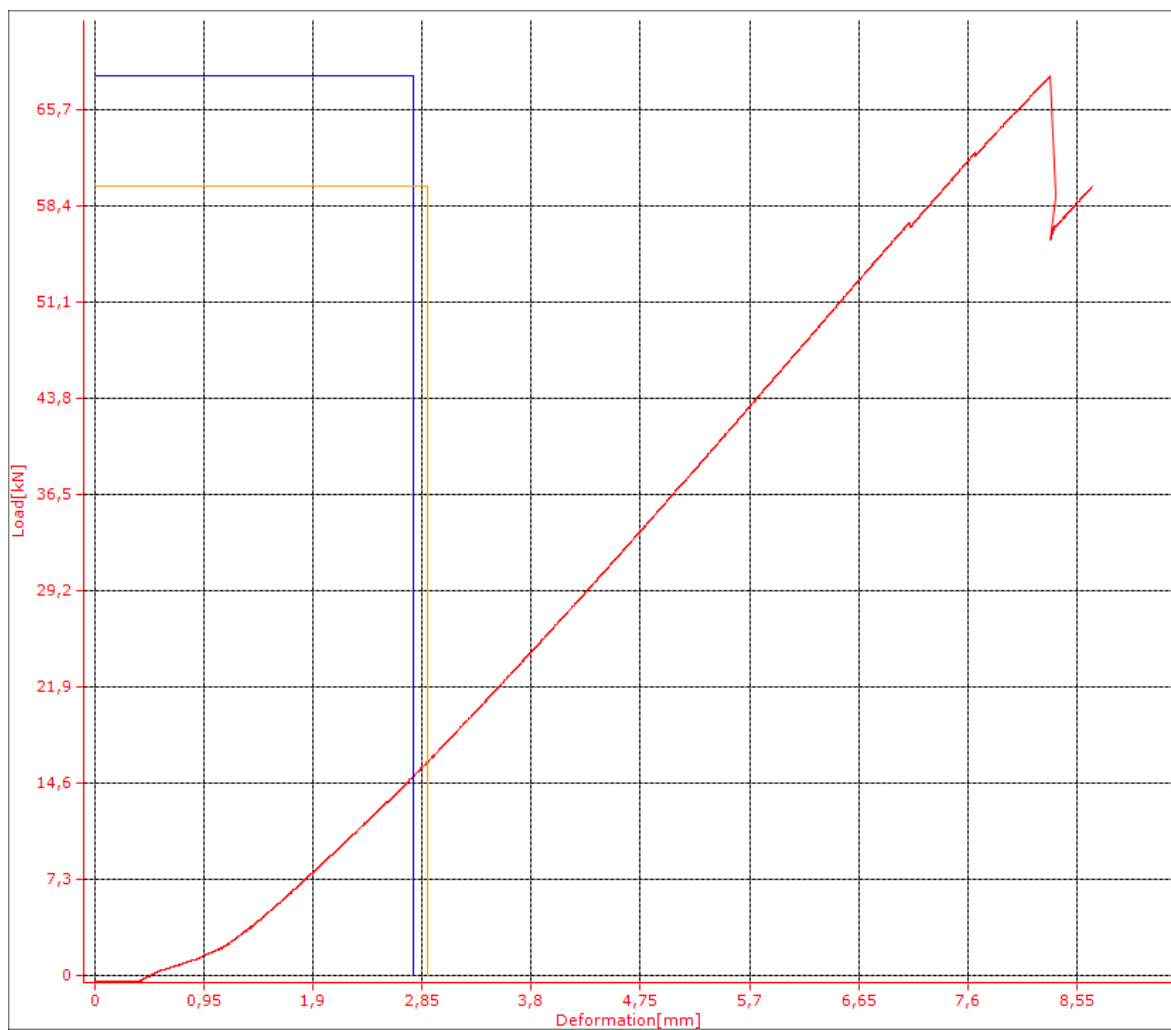
KUVA 44. Lovetun liimapuupalkin murtotapahtuma (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvissa 43 ja 44 näkyy loven halkeaminen kuormituskestävyyden ylittyessä. Kuvassa 43 nähdään, että loven epätasaisuudesta johtuen halkeama ei ole syntynyt aivan loven reunaan. Kuitenkin kuvassa 44 näkyvä halkeama on syntynyt loven tasalle. Loven epätasaisuus johtuu lovea tehdessä käytetyistä työkaluista, sillä käytettävissä oli moottorisaha ja viiloja.



KUVIO 10. Liimapuupalkin 150 mm loven tulosten vertailu

Kuviosta 10 käy ilmi liimapuupalkin laskennallisen ja kuormituskokeen kestävyysien erot. Laskennallisesta tuloksesta poiketen palkki kesti 6,1 kN (21,8 %) enemmän kuormaa laskennalliseen tulokseen verrattuna ennen palkin murtoa.

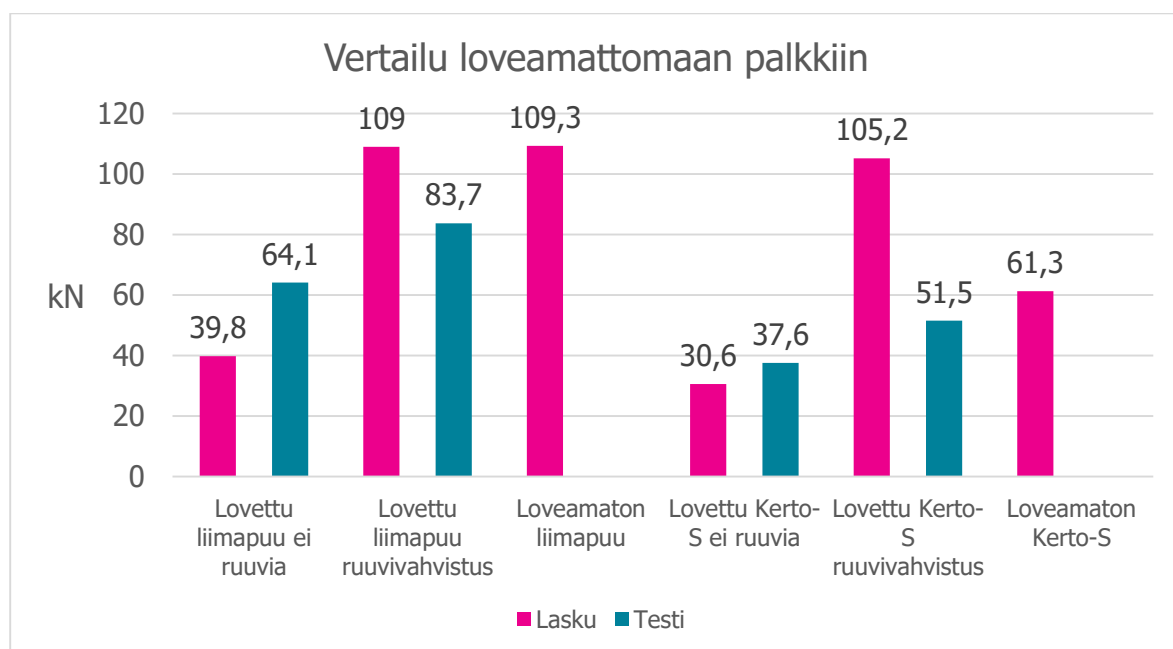


KUVA 45. Lovetun liimapuupalkin murtokäyrä (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvasta käy ilmi kuormitustapahtuman kulku. Palkin murto tapahtui kuormituksen ollessa 68,3 kN. Murtohetkellä palkin taipuma keskellä oli 8,3 mm ja käyrästä voidaan nähdä, että murtotapahtuma oli erittäin nopea, koska käyrä putosi jyrkästi alaspäin kun palkin maksimaalinen kuormitus saavutettiin.

7 YHTEENVETO

Tavallisesti laboratorio-olosuhteissa tehtävät testaukset lasketaan käyttämällä materiaalien lujuuksien keskiarvoja, mutta tähän tutkimukseen emme valittavasti saaneet kyseisiä keskiarvoja tuotevalmistajilta. Myös ruuvien tapauksessa tämä menetelmä olisi tuonut tarkempia laskenta-arvoja. Materiaalien keskiarvojen saamiseksi olisi pitänyt tehdä erillisiä kokeita määrättyjen standardien mukaisesti. Käytimme kuitenkin keskiarvojen etsimiseen huomattavan paljon aikaa ja kun keskiarvoja ei saatu, käytettiin laskuissa ominaisarvoja. Ruuvien ja pulttien ominaisarvot ovat kuitenkin minimiarvoja, jolloin laskenta on varmalla puolella. Jatkotutkimukseksi ehdotetaan ruuvien ja pulttien testausta, jonka perusteella kyseiset arvot saataisiin selville. Näitä arvoja voisi sen jälkeen käyttää tässä opinnäytetyössä tehdyissä laskuissa, jolloin teorialaskujen tulokset olisivat tarkempia ja laskennallisista kapasiteeteista tulisi suurempia käytettäessä keskiarvoja verrattuna ominaisarvoilla laskettuihin kapasiteetteihin.



KUVIO 11. Ruuvivahvistamattomien ja ruuvivahvistettujen palkkien tulosten vertailu loveamattomaan palkkiin (Karhu & Kuitunen 2016)

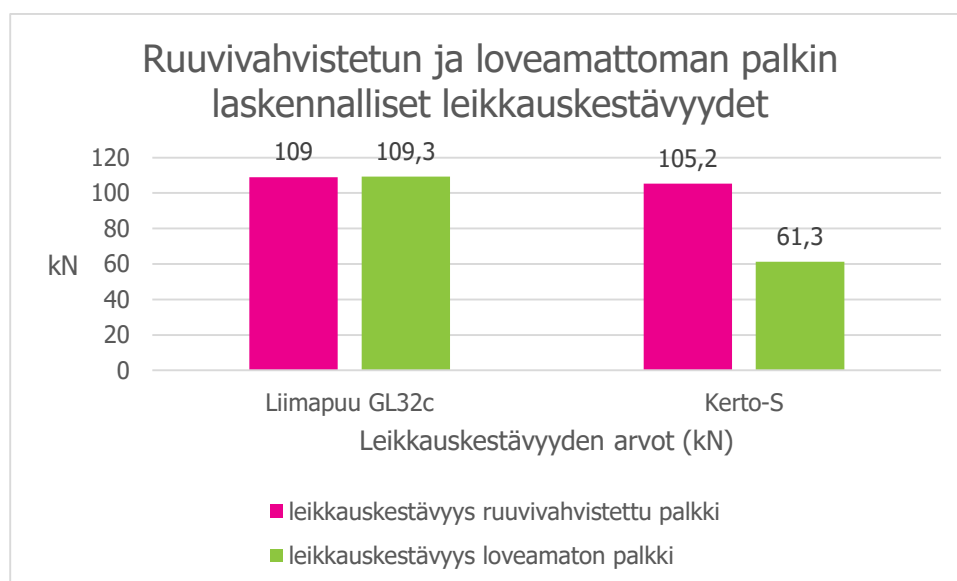
Kuviossa 11 on esitetty ruuvivahvistamattomien ja ruuvivahvistettujen palkkien tulokset ja vertailtu niitä lovamattoman palkin laskennalliseen tulokseen. Vertailutaulukossa olevien palkkien loven korkeus on 65 mm.

Jatkotutkimuksissa voisi myös tarkastella lovivahvistuksessa tapahtuvia muutoksia, kun vahvistusruuvien määrää ja sijaintia muuttaa. Ruuvivahvistukset kestivät vähemmän, kuin lujuuslaskujen antama kapasiteetti. Tämä antaa aihetta tutkia kyseisiä liitoksia tarkemmin tulosten vahvistamiseksi. Opinnäytetyössä saatuja tuloksia voidaan käyttää hyväksi Savonia-ammattikorkeakoulun puurakenteiden opetuksessa ja havainnollistamisessa. Tulokset tukevat ja vahvistavat lähtökohtaisesti odotettuja tapahtumia muiden paitsi ruuvivahvistuksen osalta.

8 POHDINTA

Laskennallisten tulosten perusteella ruuvivahvistuksen olisi pitänyt kestää huomattavasti suurempi kuorma, kuin mitä se todellisuudessa kesti. Todennäköisesti ruuvivahvistuksessa käytetyt laskukäytävät ottavat huomioon ainoastaan ruuvin kapasiteetin eivätkä palkin omaa kestävyyttä. Tämä johtaa siihen, että pelkällä ruuvivahvistuksen lasketulla kestävyydellä ei voida mitoittaa lovellista palkkia, koska laskuissa ei ruuvin ja puun kapasiteetteja ei lasketa yhteen.

Alla olevissa kuviossa on havainnollistettu loveamattoman palkin leikkaus- ja taivutuskestävyyttä ja verrattu sitä ruuvivahvistuksen kestävyYTEEN.



KUVIO 12. Ruuvivahvistetun ja loveamattoman palkin laskennalliset leikkauskestävyydet (Karhu & Kuitunen 2016)

Kuvioista 11 käy ilmi, että vaikka ruuvivahvistuksen laskennallinen kestävyys on suurempi, kuin loveamattoman palkin kestävyys, ei ruuvivahvistettua palkkia voi laskea kestävyydeltään suuremmaksi kuin loveamatonta palkkia. Tämä johtuu siitä että loveamattoman palkin poikkileikkaus on suurempi, kuin lovetun palkin, eikä sen kokonaiskestävyyttä voi pelkästään ruuvivahvistuksella kasvattaa. Toisinaan palkki pettää heikoimmasta kohdasta eli tässä tapauksessa palkin poikittainen vetokestävyys ylittyy loven kohdalta ennen kuin ruuvivahvistuksen laskennallinen kestävyys on saavutettu. Erityisesti Kerto-S-palkin ruuvivahvistuksen laskennallinen arvo on todellisuutta huomattavasti suurempi johtuen todennäköisesti siitä, että Kerto-S-puun tiheys on suuri. Tämä tarkoittaa sitä, että ruuvin ulosvetokestävyys arvo nousee suureksi.

Testauksissa huomattiin, että ruuvivahvistetussa palkissa ruuvi ei estä loven halkeamisen syntymistä, vaan hidastaa kuormituksessa halkeaman etenemistä, mikä tarkoittaa että halkeamisen jälkeen kuorma siirtyy ruuville. Palkin murtotapahtuma ilman ruuvia oli silmämääräisesti nopeampi ja rajumpi. Vahvistamattomissa palkeissa lovi alkoi halkeamisen jälkeen siirtyä palkin keskelle, jolloin pituussuuntainen siirtymä oli suurempi. Vahvistamattomassa palkissa loven halkeaminen johtuu syy-suuntaa vastaan kohtisuorien kestävyyksien ylittymisistä.

CLT-palkin kestävyys oli laskennallista tulosta huomattavasti suurempi, joka johtuu mahdollisesti pystylamellien toimimisesta vahvistavana rakenteena samaan tapaan kuin ruuvi. Testissä huomattiin, että CLT-palkin kestävyys oli laskennallisesta tuloksesta niin paljon poikkeava, että lovessa ei tapahtunut minkäänlaista halkeamaa, vaan palkin halkeaminen tapahtui taivutuskestävyyden ylittymisestä ja palkki halkesi tuentavälin keskeltä. Tämä tulos oli erittäin yllättävä eikä siihen osattu varautua. Tästä johtuen testivideossa ei kuvattu murtokohtaa koska palkin oletettiin halkeavan loven kohdalta.

LÄHTEET

Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, European Technical Approval ETA-11/0190, 2013. [VIITATTU 2016-04-13]
 Saatavilla verkossa: https://www.wurth.nl/media/downloads/pdf/assy/eta_110190_en.pdf

Metsäwood, Kerto-käsikirja, lattia- ja kattopalkit, 2014. [VIITATTU 2016-04-13]
 Saatavilla verkossa: <http://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-kasikirja-Lattiajakattopalkit.pdf>

Metsäwood, Kerto-S-palkki, 2014 [VIITATTU 2016-04-13]
 (<http://www.metsawood.com/fi/tuotteet/kerto/Pages/Kerto.aspx>)

Pedersen, Martin Uhre, 2002, Dowel Type Timber Connections - Strength modelling. [VIITATTU 2016-04-13]
 Tanskan Teknillinen yliopisto. Saatavissa verkossa: http://www.byg.dtu.dk/-/media/Institutter/Byg/publikationer/PhD/byg_r039.ashx?la=da.

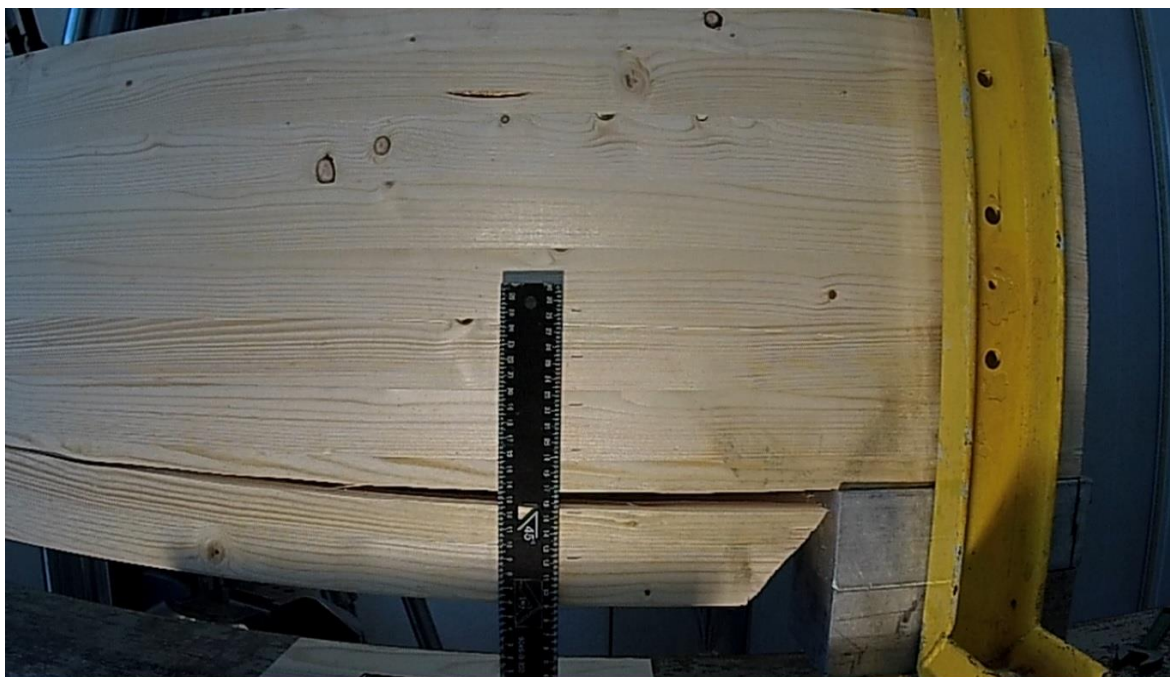
PuuInfo, Esimerkkilaskut: Hammasvaarnaliitos, 2015, Poikittainen veto ja läpilohkeaminen, 2015, Palkin vetopuolen lovi, 2016. [VIITATTU 2016-04-13]

Puuinfo, Liimapuukäsikirja osat 1-3, 2014. [VIITATTU 2016-04-13]
 Osa 1 saatavilla verkossa: http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Liimapuu_low.pdf
 Osa 2 saatavilla verkossa: http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Liimapuuk%C3%A4sikirja%20Osa%202_0.pdf
 Osa 3 saatavilla verkossa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Liimapuuk%C3%A4sikirja%20Osa%203.pdf>

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, RIL 205-1-2009, Puurakenteiden suunnitteluohje Eurokoodi EN 1995-1-1, 2009. [VIITATTU 2016-04-13]
 Tilattavissa verkossa: http://www.ril.fi/kirjakauppa/product/show/2/ohjeet-ja-normit/50/ril-205-2009-puurakenteiden-suunnitteluohje_-eurokoodi

LIITE 1

RUUVIVAHVISTETUN JA VAHVISTAMATTOMAN LIIMAPUUPALKIN MURTORAJATILAN LUJUUSLASKUT



Kuvissa ruuvivahvistamattoman liimapuupalkin lovi ja loven murto

1. Lähtötiedot

Rakennuspaikka

Kuopio

Rakenne:

Suora palkki, jossa lovi tuella

Seuraamusluokka:

CC2

Normit:

Puurakenteet :

RIL 205-1-2009, RIL 205-2-2009, SFS EN 1995-1-1,
SFS EN 1995-1-2, SFS 7027, DIN 1995-1-1/NA:2013-08

Kuormat:

RIL 201-1-2008, SFS EN 1990,

SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3

Materiaali

Liimapuu

b	=	115	mm	0,115	m
h	=	405	mm	0,405	m
ρ	=	5	kN/m ³		
L	=	2,5	m		

2. Kuormat

Kuormitustapaus 1:

omapaino 100% + lumi 100%

LUMIKUORMA

Lumikuorma maassa

$$s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Katon muotokerroin

$$\mu = 0,8$$

Palkkijako

$$k = 5000 \text{ mm}$$

kattorakenne(orret)

1-aukkoiset

Kuva 2.1-FI
(RIL 205-1-2009)

$$q_{s,k} = \mu * s_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Lumikuorma palkille

$$p_{q,s,k} = k * q_{s,k} = 10 \text{ kN/m}$$

OMAPAINO

Yläpohjan omapaino

$$g_{k,1} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

ripustuskuorma

$$g_{k,2} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

Palkkijako

$$k = 5000 \text{ mm}$$

Kattorakenne(orret)

1-aukkoiset

$$p_{q,k,1} = k * (g_{k,1} + g_{k,2}) = 5 \text{ kN/m}$$

Palkin omapaino

$$p_{g,k,2} = b * h * \rho = 0,2329 \text{ kN/m}$$

omapaino palkille

$$p_{g,k} = p_{g,k,1} + p_{g,k,2} = 5,2329 \text{ kN/m}$$

VOIMASUUREET

Kuorma murtorajatilassa

$$P_d = 1,5 * p_{q,s,k} + 1,15 * p_{g,k} = 21,017806 \text{ kN/m} \quad (2.1.1S)$$

Leikkausvoima

$$V_d = \frac{P_d * L}{2} = 26,272 \text{ kN}$$

3. Materiaali

Liimapuupalkki GL30c

$$b = 115 \text{ mm}$$

$$h = 405 \text{ mm}$$

$$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \leq 1,1 \quad 1,04$$

Aikaluokka: **Hetkellinen**

Käyttöluokka: **1**

Laboratoriokokeessa havupuun
kosteusprosentti <12%

$$k_{mod} = 1,1$$

taulukko 3.1

(RIL 205-1-2009)

Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

$$\gamma_M = 1,2$$

taulukko 2.10-FI

(RIL 205-1-2009)

leikkauskestävyyden ominaisarvo

$$f_{v,m} = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

taulukot 3.3S, 3.4S ja 3.5S

(RIL 205-1-2009)

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$f_{v,d} = k_{mod} / \gamma_M * f_{v,k} = 2,93 \text{ N/mm}^2$$

(2.17)

4. Mitoitus

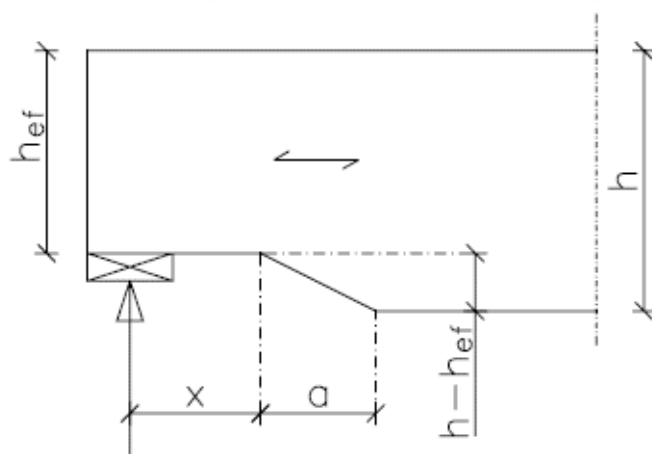
Kiepahdus estetty, ei huomioida kiepahdusriskin aiheuttamaa pienennyskerrointa

4.1 Loven mitoitus

(Taulukko- ja kaavaviittaukset ohjeeseen RIL 205-1-2009)

Kun palkin poikkileikkaus on suorakaide ja syyt ovat lähes sauvan pituusakselin suuntaiset, lasketaan leikkausjännitykset tuella olevan loven kohdalla käyttämällä tehollista (pienennettyä) korkeutta

h_{ef} (RIL 205-1-2009 s.85 kohta 6.5.2)



$$\tau = \frac{1,5 * V_d}{b_{ef} * h_{ef}} \leq k_v * f_{v,d} \quad (6.60)$$

,jossa

k_v on lovetun palkin pienennyskerroin

$$k_v = \frac{k_n * \left(1 + \frac{1,1 * l^{1,5}}{\sqrt{h}}\right)}{\sqrt{h * (\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0 \quad (6.62)$$

,jossa

$$k_n = \begin{cases} 5,0 & \text{sahatavara} \\ 6,5 & \text{liimapuu} \\ 4,5 & \text{LVL yleensä} \\ 6,0 & \text{Kerto-S -LVL} \\ 16,0 & \text{Kerto-Q -LVL} \end{cases} \quad (6.62.2S)$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} \quad (6.62.1S)$$

$$i = \frac{a}{h - h_{ef}}$$

tarkistetaan käyttöluokan vaatimus palkin teholliseen leveyteen $b_{eff}=0,67*b$

koska kyseessä on liimapuu ja käyttöluokka 1, tarvitsee tehollinen leveys ottaa huomioon:

b_{eff}	$k_{cr}*b=$	77,05 mm	tehollinen leveys
h	$=$	405 mm	korkeus
h_{ef}	$=$	340 mm	tehollinen korkeus
x	$=$	105 mm	tukireaktion etäisyys loven nurkasta millimetreinä
a	$=$	55 mm	loven pituus
$h-h_{ef}$	$=$	65 mm	loven korkeus
α	$=$	0,84	korkeuden suhde teholliseen korkeuteen
i	$=$	0,846154	loven kaltevuus
k_n	$=$	6,5	

$$k_v = \frac{k_n * (1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h * (\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0 \quad (6.62)$$

$$(6.62)$$

k_v	$=$	0,64748	materiaalikerroin	(6.62.2S)
-------	-----	---------	-------------------	-----------

tarkistetaan ehto:

$$\tau = \frac{1,5 * V_d}{b_{ef} * h_{ef}} \leq k_v * f_{v,d} \quad (6.60)$$

$$1,504309 \text{ N/mm}^2 \leq 1,9 \text{ N/mm}^2$$

66 %

OK

Palkin maksimileikkausvoimakestävyys

$$V_{d,lovettu} = \frac{\tau * b_{ef} * h_{ef}}{1,5} \quad 43,785$$

33,17 kN

$$P_d = V_{d,lovettu} * 2$$

66,34 kN

4.2 Loven vahvistus ruuvilla

Loven vahvistaminen Assy Plus VG ruuvilla 8*160,
joka porataan palkin alapuolelta keskelle palkkia:

ruuvien pituus	=	160	mm
ruuvien lukumäärä	=	1	kpl
d	=	8	mm

Vaatus:

$$L_{ed,2} \geq L_{ed,1} \rightarrow (160-65)\text{mm} \geq 50\text{mm} \rightarrow \text{OK !}$$

Lisäksi ruuvien etäisyys loven reunasta

Ruuvien etäisyys reunasta 60 mm

$$a_{1,c} \geq 40\text{mm}$$

Lasketaan ruuville tuleva kuorma (DIN 1995-1-1/NA:2013-08 mukaan):

$$F_{t,90,d} = 1,3 * V_d * (3 * (1 - \alpha)^2 - 2 * (1 - \alpha)^3)$$

$$F_{t,90,d} = 2,356851 \text{ kN}$$

Lasketaan yhden ruuvien vetokapasiteetti (ETA-11/0190:n mukaan)

Vetolujuus kannan puolella

ruuvien lkm	=	1	
$f_{tens,k}$	=	20	kN
α	=	90	°
$\rho_{m,1}$	=	470	kg/m ³
$k_{ax,1}$	=	1	$\alpha \geq 45^\circ$
ρ_a	=	350	kg/m ³
$f_{ax,k}$	=	11	N/mm ² (d=8mm)
d	=	8	mm

$$l_{g,1} = 65 \text{ mm}$$

$$F_{ax,90,1,k} = k_{ax,1} * f_{ax,k} * \left(\frac{\rho_{k,1}}{\rho_a}\right)^{0,8} = 13,926 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{head,k} = 13 \text{ N/mm}^2 \quad (d_h=10\text{mm} \leq 19\text{mm})$$

$$d_h = 10 \text{ mm}$$

$$R_{T,1,k} = f_{ax,90,1,k} * d * l_{g1} + f_{head,k} * d_h^2 * \left(\frac{\rho_{k,1}}{\rho_a}\right)^{0,8}$$

$$= 8,9 \text{ kN}$$

ruuvien yhteenlaskettu kapasiteetti

$$= 8,9 \text{ kN}$$

,jossa

$$f_{\text{tens},k} = \text{Ruuvin vetomurtokestävyyden ominaisarvo (Taulukko 7, Ruuviliitosten mitoitus, MetsäWood 2012)}$$

$$\alpha = \text{ruuvauskulma}$$

$$\rho_{m,1} = \text{Materiaalin tiheyden keskiarvo}$$

$$k_{ax,1} = \text{Ruuvin ja syyn välisestä kulmasta johtuva kerroin (ETA11/0190)}$$

$$\rho_a = \text{Laskuissa käytetyn ruuvin ulosvetolujuusparametrin mukainen vertailutiheys}$$

$$f_{ax,k} = \text{Ulosvetolujuuden ominaisarvo puuntiheydellä } \rho_a$$

$$d = \text{Ruuvin paksuus}$$

$$l_{g,1} = \text{Ruuvin tunkeuma kannan puoleisessa puussa}$$

$$F_{ax,90,1,k} = \text{Ruuvin läpivetokapasiteetin ominaisarvo kulmassa } \alpha \text{ syysuuntaan nähden (RIL 205-1-2009, 8.7.2 Pituussuunnassa kuormitetut ruuvit, 8.40b)}$$

$$f_{\text{head},k} = \text{EN 14592 mukainen läpivetolujuuden arvo kohtisuorassa syytä vastaan (ETA11/0190)}$$

$$d_h = \text{Ruuvin kannan paksuus}$$

$$R_{T,1,k} = \text{Liittimien leikkauskestävyys tarkasteltavassa leikkeessä}$$

Vetolujuus kärjen puolella

$$\text{ruuvien lkm} = 1$$

$$\alpha = 90 \text{ deg}$$

$$\rho_{m,2} = 470 \text{ kg/m}^3$$

$$k_{ax,2} = 1 \quad \alpha \geq 45 \text{ deg}$$

$$\rho_a = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{ax,k} = 11 \text{ N/mm}^2 \quad (d=8\text{mm})$$

$$d = 8 \text{ mm}$$

$$l_{g,2} = 95 \text{ mm}$$

$$F_{ax,90,2,k} = k_{ax,2} * f_{ax,k} * \left(\frac{\rho_{k,2}}{\rho_a}\right)^{0,8} = 13,926 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{T,2,k} = f_{ax,90,1,k} * d * l_{g,2}$$

$$= 10,6 \text{ kN}$$

ruuvien yhteenlaskettu kapasiteetti

$$= 10,6 \text{ kN}$$

,jossa

$$\alpha = \text{ruuvauskulma}$$

$$\rho_{m,2} = \text{Materiaalin tiheyden keskiarvo}$$

$$k_{ax,2} = \text{Ruuvin ja syyn välisestä kulmasta johtuva kerroin (ETA11/0190)}$$

$$\rho_a = \text{Laskuissa käytetyn ruuvin ulosvetolujuusparametrin mukainen vertailutiheys}$$

$$f_{ax,k} = \text{Ulosvetolujuuden ominaisarvo puuntiheydellä } \rho_a$$

$$d = \text{Ruuvin paksuus}$$

$$l_{g,2} = \text{Ruuvin tunkeuma kärjen puoleisessa puussa}$$

$F_{ax,90,2,k}$ = Ruuvin läpivetokapasiteetin ominaisarvo kulmassa α syysuuntaan nähden
(RIL 205-1-2009, 8.7.2 Pituussuunnassa kuormitetut ruuvit, 8.40b)

$R_{T,2,k}$ = Liittimien leikkauskestävyys tarkasteltavassa leikkeessä
Vetoruuvien ominaiskapasiteetti

$$R_{T,k} = \min(R_{T,1,k}; R_{T,2,k}; f_{tens,k})$$

8,9 kN

Vetoruuviliitoksen mitoituskapasiteetti

$$R_d = \frac{0,8}{1,2} * R_k \quad 8,1 \text{ kN}$$

mitoitusehto

$$\frac{F_{t,90,d}}{R_d} \leq 1$$

29 %

OK!

Alla on laskettu ruuvien kestävyys R_d avulla laboratoriokokeessa vaadittava kuormitusvoima P_d

ja ruuvien
maksimi-
kestävyys
 $V_{d,ruuvien}$
maksimi-
kestävyys

$$V_{d,ruuvien \text{ maksimikestävyys}} = \frac{R_T}{1,3 * (3 * (1 - \alpha)^2 - 2 * (1 - \alpha)^3)}$$

$$V_{d,ruuvien \text{ maksimikestävyys}} = 90,81 \text{ kN}$$

$$P_d = V_d * 2$$

$$181,62 \text{ kN}$$

Loveamaton palkki
Taivutuskestävyys

$$f_{m,k} = 32 \text{ N/mm}^2$$

Momentti

$$M = W * \sigma$$

$$M = \frac{bh^2}{6} * f_{m,d}$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = 29,33 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 M &= 92,2 \text{ kNm} \\
 P_d &= \frac{M * 4}{L} = 147,55 \text{ kN} \\
 V_d &= \frac{P_d}{2} = 73,78 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Leikkauskestävyys

$$\begin{aligned}
 f_{v,k} &= 3,2 \text{ N/mm}^2 \\
 f_{v,d} &= 3,52 \text{ N/mm}^2 \\
 V_d &= \frac{f_{v,d} * b * h}{1,5} \\
 &= 109,296 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Lovetun ruuvivahvistamattoman palkin suhde loveamattomaan palkkiin

$$\frac{V_{d,lovettu}}{V_d} * 100 = 30 \%$$

Lovi heikentää palkin leikkauskestävyyttä

70 %





Kuvissa ruuvivahvistetun liimapuupalkin lovi ja murto

LIITE 2

RUUVIVAHVISTETUN JA VAHVISTAMATTOMAN KERTO-S-PALKIN MURTORAJATILAN LUJUUSLASKUT



Kuvissa vahvistamattoman kerto-s palkin lovi ja murto

1. Lähtötiedot

Rakennuspaikka
Rakenne:
Seuraamusluokka:
Normit:

Kuopio
Suora palkki, jossa lovi tuella
CC2
Puurakenteet :
RIL 205-1-2009, RIL 205-2-2009, SFS EN 1995-1-1,
SFS EN 1995-1-2, SFS 7027, DIN 1995-1-1/NA:2013-08
Kuormat:
RIL 201-1-2008, SFS EN 1990,
SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3
Kerto-S

Materiaali

b	=	51	mm	0,051	m
h	=	400	mm	0,4	m
ρ	=	5	kN/m ³		
L	=	2,5	m		

2. Kuormat

Kuormitustapaus 1: omapaino 100% + lumi 100%

LUMIKUORMA

Lumikuorma maassa
Katon muotokerroin
Palkkijako
kattorakenne(orret)

s_k	=	2,5	kN/m ²
μ	=	0,8	
k	=	5000	mm
		1-aukkoiset	

Kuva 2.1-FI
(RIL 205-1-2009)

$$q_{s,k} = \mu * s_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Lumikuorma palkille

$$p_{q,s,k} = k * q_{s,k} = 10 \text{ kN/m}$$

OMAPAINO

Yläpohjan omapaino
ripustuskuorma
Palkkijako
Kattorakenne(orret)

$g_{k,1}$	=	0,5	kN/m ²
$g_{k,2}$	=	0,5	kN/m ²
k	=	5000	mm
		1-aukkoiset	

$$p_{q,k,1} = k * (g_{k,1} + g_{k,2}) = 5 \text{ kN/m}$$

Palkin omapaino

$$p_{g,k,2} = b * h * \rho = 0,102 \text{ kN/m}$$

omapaino palkille

$$p_{g,k} = p_{g,k,1} + p_{g,k,2} = 5,102 \text{ kN/m}$$

VOIMASUUREET

Kuorma murtorajatilassa

$$P_d = 1,5 * p_{q,s,k} + 1,15 * p_{g,k} = 20,8673 \text{ kN/m} \quad (2.1.1S)$$

Leikkausvoima

$$V_d = \frac{P_d * L}{2} = 26,084 \text{ kN}$$

3. Materiaali

Liimapuupalkki GL30c

$$b = 51 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \leq 1,1 \quad 1,04$$

Aikaluokka: Hetkellinen

Käyttöluokka: 1 Laboratoriokokeessa havupuun kosteusprosentti <12%

$$k_{mod} = 1,1 \quad \text{taulukko 3.1} \quad (\text{RIL 205-1-2009})$$

Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

$$\gamma_M = 1,2 \quad \text{taulukko 2.10-FI} \quad (\text{RIL 205-1-2009})$$

leikkauskestävyyden ominaisarvo

$$f_{v,k} = 4,1 \text{ N/mm}^2 \quad \text{taulukot 3.3S, 3.4S ja 3.5S} \quad (\text{RIL 205-1-2009})$$

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$f_{v,d} = k_{mod} / \gamma_M * f_{v,k} = 3,76 \text{ N/mm}^2 \quad (2.17)$$

Laboratoriokokeen vuoksi mitoituksessa ei käytetä varmuuskerrointa γ_M

4. Mitoitus

Kiepahdus estetty, ei huomioida kiepahdusriskin aiheuttamaa pienennyskerrointa

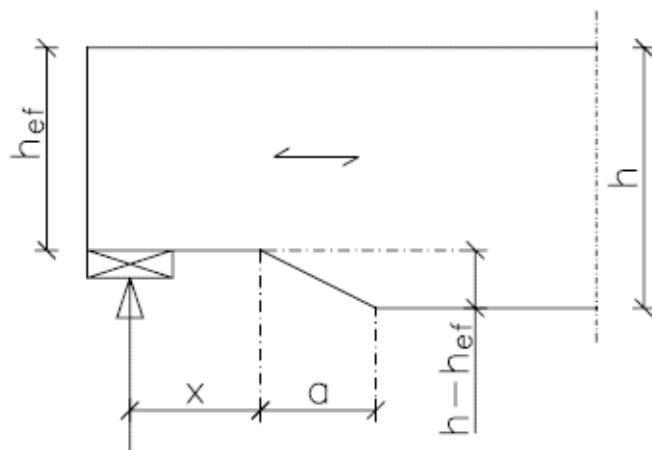
4.1 Loven mitoitus

(Taulukko- ja kaavaviittaukset ohjeeseen RIL 205-1-2009)

lasketaan leikkausjännitykset tuella olevan loven kohdalla

käyttämällä tehollista (pienennettyä) korkeutta

h_{ef} (RIL 205-1-2009 s.85 kohta 6.5.2)



Seuraavan ehdon tulee täyttyä:

$$\tau = \frac{1,5 * V_d}{b_{ef} * h_{ef}} \leq k_v * f_{v,d} \quad (6.60)$$

,jossa

k_v on lovetun palkin pienennyskerroin

$$k_v = \frac{k_n * (1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h * (\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0 \quad (6.62)$$

,jossa

$$k_n = \begin{cases} 5,0 & \text{sahatavara} \\ 6,5 & \text{liimapuu} \\ 4,5 & \text{LVL yleensä} \\ 6,0 & \text{Kerto-S -LVL} \\ 16,0 & \text{Kerto-Q -LVL} \end{cases} \quad (6.62.2S)$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} \quad (6.62.1S)$$

$$i = \frac{a}{h - h_{ef}}$$

tarkistetaan käyttöluokan vaatimus palkin teholliseen leveyteen $b_{eff}=0,67*b$

b_{eff}	=	$k_{cr} * b =$	51 mm	tehollinen leveys
h	=		400 mm	korkeus
h_{ef}	=		335 mm	tehollinen korkeus
x	=		105 mm	
a	=		55 mm	loven pituus
$h - h_{ef}$	=		65 mm	loven korkeus
α	=		0,84	korkeuden suhde teholliseen korkeuteen
i	=		0,846154	loven kaltevuus
k_n	=		6	

$$k_v = \frac{k_n * (1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h * (\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0$$

(6.62)

$$k_v = 0,596112 \quad \text{materiaalikerroin} \quad (6.62.2S)$$

tarkistetaan ehto:

$$\tau = \frac{1,5 * V_d}{b_{ef} * h_{ef}} \leq k_v * f_{v,k} \quad (6.60)$$

$$\frac{2,29009 \text{ N/mm}^2}{153 \%} \leq 2,24 \text{ N/mm}^2$$

OK

Palkin maksimileikkausvoimakestävyys

$$V_{d,lovettu} = \frac{\tau * b_{ef} * h_{ef}}{1,5} \quad 33,68$$

25,52 kN

$$P_d = V_{d,lovettu} * 2$$

51,04 kN

4.2 Loven vahvistus ruuvilla

Loven vahvistaminen Assy Plus VG ruuvilla 8*160,
joka porataan palkin alapuolelta keskelle palkkia:

ruuvien pituus	=	160	mm
ruuvien lukumäärä	=	1	kpl
d	=	8	mm

Vaatimus:

$$L_{ed,2} \geq L_{ed,1} \rightarrow (160-65)\text{mm} \geq 50\text{mm} \rightarrow \text{OK !}$$

Lisäksi ruuvien etäisyys loven reunasta

Ruuvien etäisyys reunasta 60 mm

$$a_{1,c} \geq 40\text{mm}$$

Lasketaan ruuville tuleva kuorma (DIN 1995-1-1/NA:2013-08 mukaan):

$$F_{t,90,d} = 1,3 * V_d * (3 * (1 - \alpha)^2 - 2 * (1 - \alpha)^3)$$

$$F_{t,90,d} \quad 2,395246 \text{ kN}$$

Lasketaan yhden ruuvien vetokapasiteetti (ETA-11/0190:n mukaan)

Vetolujuus kannan puolella

ruuvien lkm	=	1	
$f_{tens,k}$	=	20	kN
α	=	90	°
$\rho_{m,1}$	=	510	kg/m ³
$k_{ax,1}$	=	1	$\alpha \geq 45^\circ$

$$\begin{aligned}
 \rho_a &= 350 \text{ kg/m}^3 \\
 f_{ax,k} &= 10 \text{ N/mm}^2 \quad (d=8\text{mm}) \\
 d &= 8 \text{ mm} \\
 l_{g,1} &= 65 \text{ mm} \\
 F_{ax,90,1,k} &= k_{ax,1} * f_{ax,k} * \left(\frac{\rho_{k,1}}{\rho_a}\right)^{0,8} = 13,515 \text{ N/mm}^2 \\
 f_{head,k} &= 13 \text{ N/mm}^2 \quad (d_h=10\text{mm} \leq 19\text{mm}) \\
 d_h &= 10 \text{ mm} \\
 R_{T,1,k} &= f_{ax,90,1,k} * d * l_{g1} + f_{head,k} * d_h^2 * \left(\frac{\rho_{k,1}}{\rho_a}\right)^{0,8} \\
 &= 8,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

ruuvien yhteenlaskettu kapasiteetti

$$= 8,8 \text{ kN}$$

,jossa

$$\begin{aligned}
 f_{tens,k} &= \text{Ruuvin vetomurtokestävyyden ominaisarvo} \\
 &\quad (\text{Taulukko 7, Ruuviliitosten mitoitus, MetsäWood 2012}) \\
 \alpha &= \text{ruuvauskulma} \\
 \rho_{m,1} &= \text{Materiaalin tiheyden keskiarvo} \\
 k_{ax,1} &= \text{Ruuvin ja syyn välisestä kulmasta johtuva kerroin (ETA11/0190)} \\
 \rho_a &= \text{Laskuissa käytetyn ruuvin ulosvetolujuusparametrin} \\
 &\quad \text{mukainen vertailutiheys} \\
 f_{ax,k} &= \text{Ulosvetolujuuden ominaisarvo puuntiheydellä } \rho_a \\
 d &= \text{Ruuvin paksuus} \\
 l_{g,1} &= \text{Ruuvin tunkeuma kannan puoleisessa puussa} \\
 F_{ax,90,1,k} &= \text{Ruuvin läpivetokapasiteetin ominaisarvo kulmassa } \alpha \\
 &\quad \text{syysuuntaan nähden} \\
 f_{head,k} &= \text{(ETA11/0190)} \\
 d_h &= \text{Ruuvin kannan paksuus} \\
 R_{T,1,k} &= \text{Liittimien leikkauskestävyys tarkasteltavassa leikkeessä}
 \end{aligned}$$

Vetolujuus kärjen puolella

$$\begin{aligned}
 \text{ruuvien lkm} &= 1 \\
 \alpha &= 90 \text{ deg} \\
 \rho_{m,2} &= 510 \text{ kg/m}^3 \\
 k_{ax,2} &= 1 \quad \alpha \geq 45 \text{ deg} \\
 \rho_a &= 350 \text{ kg/m}^3 \\
 f_{ax,k} &= 10 \text{ N/mm}^2 \quad (d=8\text{mm}) \\
 d &= 8 \text{ mm} \\
 l_{g,2} &= 95 \text{ mm} \\
 F_{ax,90,2,k} &= k_{ax,2} * f_{ax,k} * \left(\frac{\rho_{k,2}}{\rho_a}\right)^{0,8} = 13,515 \text{ N/mm}^2 \\
 R_{T,2,k} &= f_{ax,90,1,k} * d * l_{g2} \\
 &= 10,3 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

ruuvien yhteenlaskettu kapasiteetti

	=	10,3 kN
,jossa		
α	=	ruuvauskulma
$\rho_{m,2}$	=	Materiaalin tiheyden keskiarvo
$k_{ax,2}$	=	Ruuvien ja syyn välisestä kulmasta johtuva kerroin (ETA11/0190)
ρ_a	=	Laskuissa käytetyn ruuvien ulosvetolujuusparametrin mukainen vertailutiheys
$f_{ax,k}$	=	Ulosvetolujuuden ominaisarvo puuntiheydellä ρ_a
d	=	Ruuvien paksuus
$l_{g,2}$	=	Ruuvien tunkeuma kärjen puoleisessa puussa
$F_{ax,90,2,k}$	=	Ruuvien läpivetokapasiteetin ominaisarvo kulmassa α syysuuntaan nähden

$R_{T,2,k}$	=	Liittimien leikkauskestävyys tarkasteltavassa leikkeessä
Vetoruuvien ominaiskapasiteetti		
$R_{T,k}$	=	$\min(R_{T,1,k}; R_{T,2,k}; f_{tens,k})$
		8,8 kN

Vetoruuviliitoksen mitoituskapasiteetti

$$R_d = \frac{0,8}{1,2} * R_k = 8,1 \text{ kN}$$

mitoitusehto

$$\frac{F_{t,90,d}}{R_d} \leq 1$$

30 %

OK!

$$V_{d,ruuvien \text{ maksimikestävyys}} = 87,69 \text{ kN}$$

$$P_d = V_{d,ruuvien, \text{maksimikestävyys}} * 2$$

$$175,38 \text{ kN}$$

Loveamaton palkki

Taivutuskestävyys

$$f_{m,k} = 44 \text{ N/mm}^2$$

Momentti

$$M = W * \sigma$$

$$M = \frac{bh^2}{6} * f_{m,d}$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = 48,4 \text{ N/mm}^2$$

$$M = 54,85 \text{ kNm}$$

$$P_d = \frac{M * 4}{L} = 87,77 \text{ kN}$$

$$V_d = \frac{P_d}{2} = 43,88 \text{ kN}$$

Leikkauskestävyys

$$f_{v,k} = 4,1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = 4,51 \text{ N/mm}^2$$

$$V_d = \frac{f_{v,d} * b * h}{1,5}$$

$$= 61,336 \text{ kN}$$

Lovetun ruuvivahvistamattoman palkin suhde loveamattomaan palkkiin

$$\frac{V_{d,lovettu}}{V_d} * 100 = 42 \%$$

Lovi heikentää palkin leikkauskestävyyttä

58 %





Kuvissa ruuvivahvistetun Kerto-S-palkin lovi ja murto

LIITE 3

DIGIPUUSEMINAARISSA ESITETYN CLT-PALKIN MURTORAJATILAN LUJUUSLASKUT



Kuvassa CLT-palkin 150 mm korkea lovi

1. Lähtötiedot

Rakennuspaikka Kuopio

Rakenne: Suora palkki, jossa lovi tuella

Seuraamusluokka: CC2

Normit:**Puurakenteet :**RIL 205-1-2009, RIL 205-2-2009, SFS EN 1995-1-1,
SFS EN 1995-1-2, SFS 7027, DIN 1995-1-1/NA:2013-08**Kuormat:**RIL 201-1-2008, SFS EN 1990,
SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3**Materiaali**

CLT

b	=	100	mm	0,1	m
h	=	400	mm	0,4	m
ρ	=	5	kN/m ³		
L	=	2	m		

2. Kuormat

Kuormitustapaus 1: omapaino 100% + lumi 100%

LUMIKUORMALumikuorma maassa s_k = 2,5 kN/m²Katon muotokerroin μ = 0,8Palkkijako k = 5000 mm

kattorakenne(orret) 1-aukkoiset

$$q_{s,k} = \mu * s_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Kuva 2.1-FI
(RIL 205-1-
2009)

Lumikuorma palkille

$$p_{q,s,k} = k \cdot q_{s,k} = 10 \text{ kN/m}$$

OMAPAINO

Yläpohjan omapaino	$g_{k,1}$	=	0,5	kN/m ²
ripustuskuorma	$g_{k,2}$	=	0,5	kN/m ²
Palkkijako	k	=	5000	mm
Kattorakenne(orret)	1-aukkoiset			

$$p_{q,k,1} = k \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) = 5 \text{ kN/m}$$

Palkin omapaino

$$p_{g,k,2} = b \cdot h \cdot \rho = 0,2 \text{ kN/m}$$

omapaino palkille

$$p_{g,k} = p_{g,k,1} + p_{g,k,2} = 5,2 \text{ kN/m}$$

VOIMASUUREET**Kuorma murtorajatilassa**

$$P_d = 1,5 \cdot p_{q,s,k} + 1,15 \cdot p_{g,k} = 20,98 \text{ kN/m} \quad (2.1.1S)$$

Leikkausvoima

$$V_d = \frac{P_d \cdot L}{2} = 20,98 \text{ kN}$$

3. Materiaali**Liimapuupalkki GL30c**

b	=	100	mm
h	=	400	mm

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1 \quad 1,04$$

Aikaluokka: Hetkellinen**Käyttöluokka: 1**

Laboratoriokokeessa havu-
puun
kosteusprosentti <12%

$$k_{mod} = 1,1 \quad \text{taulukko 3.1}$$

(RIL 205-1-2009)

Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

$$\gamma_M = 1,4 \quad \text{taulukko 2.10-FI}$$

(RIL 205-1-2009)

leikkauskestävyyden ominaisarvo

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2 \quad \text{taulukot 3.3S, 3.4S ja 3.5S}$$

(RIL 205-1-2009)

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$f_{v,d} = k_{mod} / \gamma_M \cdot f_{v,k} = 2,51 \text{ N/mm}^2 \quad (2.17)$$

4. Mitoitus

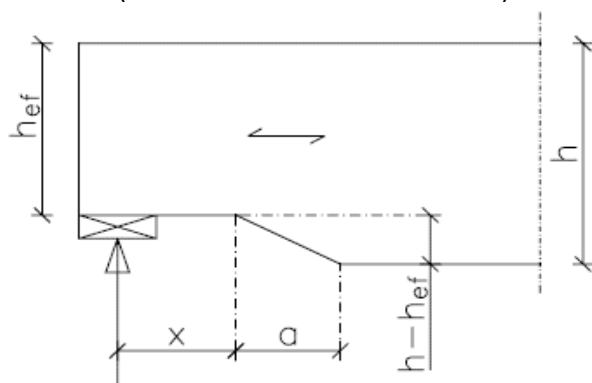
Kiepahdus estetty, ei huomioida kiepahdusriskin aiheuttamaa pienennyskerrointa

4.1 Loven mitoitus

(Taulukko- ja kaavaviittaukset ohjeeseen RIL 205-1-2009)

Kun palkin poikkileikkaus on suorakaide ja syyt ovat lähes sauvan pituusakselin suuntaiset, lasketaan leikkausjännitykset tuella olevan loven kohdalla käyttämällä tehollista (pienennettyä) korkeutta

h_{ef} (RIL 205-1-2009 s.85 kohta 6.5.2)



Seuraavan ehdon tulee täytyä:

$$\tau = \frac{1,5 \cdot V_d}{b_{ef} \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d} \quad (6.60)$$

,jossa

k_v on lovetun palkin pienennyskerroin

$$k_v = \frac{k_n \cdot \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}}\right)}{\sqrt{h \cdot (\sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0 \quad (6.62)$$

,jossa

$$k_n = \begin{cases} 5,0 & \text{sahatavara} \\ 6,5 & \text{liimapuu} \\ 4,5 & \text{LVL yleensä} \\ 6,0 & \text{Kerto-S -LVL} \\ 16,0 & \text{Kerto-Q -LVL} \end{cases} \quad (6.62.2S)$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} \quad (6.62.1S)$$

$$i = \frac{a}{h - h_{ef}}$$

tarkistetaan käyttöluokan vaatimus palkin teholliseen leveyteen $b_{eff} = 0,67 \cdot b$

koska kyseessä on liimapuu ja käyttöluokka 1, tarvitsee tehollinen leveys ottaa huomioon:

b_{eff}	$k_{cr} * b =$	67 mm	tehollinen leveys
h	$=$	400 mm	kor- keus
h_{ef}	$=$	250 mm	tehollinen korkeus
x	$=$	105 mm	tukireaktion etäisyys loven nurkasta millimetreinä
a	$=$	0 mm	loven pituus
$h - h_{ef}$	$=$	150 mm	loven korkeus
α	$=$	0,63	korkeuden suhde teholliseen korkeuteen
i	$=$	0	loven kaltevuus
k_n	$=$	5	

$$k_v = \frac{k_n * (1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h * (\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0$$

(6.62)

$$k_v = 0,516398 \quad \text{materiaalikerroin} \quad (6.62.2S)$$

tarkistetaan ehto:

$$\tau = \frac{1,5 * V_d}{b_{ef} * h_{ef}} \leq k_v * f_{v,k} \quad (6.60)$$

$$1,878806 \text{ N/mm}^2 \leq 1,29837 \text{ N/mm}^2$$

145 %

Ei kestä eli joudutaan vahvistamaan lovea
Palkin maksimileikkausvoimakestävyys

$$V_{d,lovettu} = \frac{\tau * b_{ef} * h_{ef}}{1,5} \quad 19,14$$

14,5 kN

$$P_d = V_{d,lovettu} * 2$$

29,0 kN



Kuvassa CLT-palkin loven murto

LIITE 4

DIGIPUUSEMINAARISSA ESITETYN LIIMAPUUPALKIN MURTORAJATILAN LUJUUSLASKUT



Kuvassa liimapuupalkin 150 mm korkea lovi

1. Lähtötiedot

Rakennuspaikka Kuopio

Rakenne: Suora palkki, jossa lovi tuella

Seuraamusluokka: CC2

Normit:**Puurakenteet :**RIL 205-1-2009, RIL 205-2-2009, SFS EN 1995-1-1,
SFS EN 1995-1-2, SFS 7027, DIN 1995-1-1/NA:2013-08**Kuormat:**RIL 201-1-2008, SFS EN 1990,
SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3**Materiaali**

Liimapuu

b	=	115	mm	0,115	m
h	=	405	mm	0,405	m
ρ	=	5	kN/m ³		
L	=	2,5	m		

2. Kuormat

Kuormitustapaus 1: omapaino 100% + lumi 100%

LUMIKUORMA

Lumikuorma maassa	s_k	=	2,5	kN/m ²
Katon muotokerroin	μ	=	0,8	
Palkkijako	k	=	5000	mm
kattorakenne(orret)	1-aukkoiset			

Kuva 2.1-FI
(RIL 205-1-
2009)

$$q_{s,k} = \mu * s_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Lumikuorma palkille

$$p_{q,s,k} = k * q_{s,k} = 10 \text{ kN/m}$$

OMAPAINO

Yläpohjan omapaino	$g_{k,1}$	=	0,5	kN/m ²
ripustuskuorma	$g_{k,2}$	=	0,5	kN/m ²
Palkkijako	k	=	5000	mm
Kattorakenne(orret)	1-aukkoiset			

$$p_{q,k,1} = k \cdot (g_{k,1} + g_{k,2}) = 5 \text{ kN/m}$$

Palkin omapaino

$$p_{g,k,2} = b \cdot h \cdot \rho = 0,2329 \text{ kN/m}$$

omapaino palkille

$$p_{g,k} = p_{g,k,1} + p_{g,k,2} = 5,2329 \text{ kN/m}$$

VOIMASUUREET

Kuorma murtorajatilassa

$$P_d = 1,5 \cdot p_{q,s,k} + 1,15 \cdot p_{g,k} = 21,017806 \text{ kN/m} \quad (2.1.1S)$$

Leikkausvoima

$$V_d = \frac{P_d \cdot L}{2} = 26,272 \text{ kN}$$

3. Materiaali

Liimapuupalkki GL30c

b	=	115	mm
h	=	405	mm

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1 \quad 1,04$$

Aikaluokka: Hetkellinen**Käyttöluokka:** 1Laboratoriokokeessa havupuun
kosteusprosentti <12%

$$k_{mod} = 1,1 \quad \text{taulukko 3.1}$$

(RIL 205-1-
2009)**Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet**

$$\gamma_M = 1,2 \quad \text{taulukko 2.10-FI}$$

(RIL 205-1-
2009)

leikkauskestävyyden ominaisarvo

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2 \quad \text{taulukot 3.3S, 3.4S ja 3.5S}$$

(RIL 205-1-
2009)

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$f_{v,d} = k_{mod} / \gamma_M \cdot f_{v,k} = 2,93 \text{ N/mm}^2 \quad (2.17)$$

4. Mitoitus

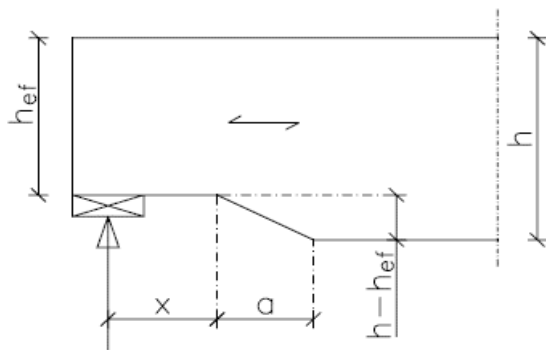
Kiepahdus estetty, ei huomioida kiepahdusriskin aiheuttamaa pienennyskerrointa

4.1 Loven mitoitus

(Taulukko- ja kaavaviittaukset ohjeeseen RIL 205-1-2009)

Kun palkin poikkileikkaus on suorakaide ja syyt ovat lähes sauvan pituusakselin suuntaiset, lasketaan leikkauksen jännitykset tuella olevan loven kohdalla käyttämällä tehollista (pienennettyä) korkeutta

h_{ef} (RIL 205-1-2009 s.85 kohta 6.5.2)



Seuraavan ehdon tulee täyttyä: $\tau = \frac{1,5 * V_d}{b_{ef} * h_{ef}} \leq k_v * f_{v,d}$ (6.60)

,jossa

k_v on lovetun palkin pienennyskerroin

$$k_v = \frac{k_n * (1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h} * (\sqrt{\alpha} * (1 - \alpha) + 0,8 * \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})} \text{ kuitenkin enintään } 1,0 \quad (6.62)$$

,jossa

$$k_n = \begin{cases} 5,0 & \text{sahatavara} \\ 6,5 & \text{liimapuu} \\ 4,5 & \text{LVL yleensä} \\ 6,0 & \text{Kerto-S -LVL} \\ 16,0 & \text{Kerto-Q -LVL} \end{cases} \quad (6.62.2S)$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} \quad (6.62.1S)$$

$$i = \frac{a}{h - h_{ef}}$$

tarkistetaan käyttöluokan vaatimus palkin teholliseen leveyteen $b_{eff}=0,67*b$

koska kyseessä on liimapuu ja käyttöluokka 1, tarvitsee tehollinen leveys ottaa huomioon:

$$b_{eff} \quad k_{cr} * b = 77,05 \text{ mm} \quad \text{tehollinen leveys}$$

$$h = 405 \text{ mm} \quad \text{korkeus}$$

h_{ef}	=	255 mm	tehollinen korkeus
x	=	105 mm	tukireaktion etäisyys loven nurkasta millimetreinä
a	=	0 mm	loven pituus
$h-h_{ef}$	=	150 mm	loven korkeus
α	=	0,63	korkeuden suhde teholliseen korkeuteen
i	=	0	loven kaltevuus
k_n	=	6,5	

$$k_v = \frac{k_n * (1 + \frac{1,1 * i^{1,5}}{\sqrt{h}})}{\sqrt{h * (\sqrt{\alpha * (1 - \alpha)} + 0,8 * \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2})}} \text{ kuitenkin enintään } 1,0 \quad (6.62)$$

$$k_v = 0,668844 \quad \text{materiaalikerroin} \quad (6.62.2S)$$

tarkistetaan ehto:

$$\tau = \frac{1,5 * V_d}{b_{ef} * h_{ef}} \leq k_v * f_{v,k} \quad (6.60)$$

$$2,005746 \text{ N/mm}^2 \leq 1,96194 \text{ N/mm}^2$$

102 %

Ei kestä eli joudutaan vahvistamaan lovea
Palkin maksimileikkausvoimakestävyys

$$V_{d,lovettu} = \frac{\tau * b_{ef} * h_{ef}}{1,5} = 33,92$$

25,7 kN

$$P_d = V_{d,lovettu} * 2$$

51,4 kN



Kuvassa liimapuupalkin 150 mm loven murto